



*Інститут цифровізації освіти*

**Імерсивні платформи та застосунки для організації навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв**

*Методичні рекомендації*



УДК 371.3:004.946.5+004.946

P28

*Рекомендовано до друку вченою радою  
Інституту цифровізації освіти НАПН України  
(протокол №7 від 30.04.2026 року)*

**Рецензенти:**

- Козаченко І. О.** кандидат педагогічних наук, директор Комунального закладу освіти «Криворізький ліцей «КОЛІЯ» Дніпропетровської обласної ради», вчитель вищої категорії, вчитель-методист.
- Словак К. І.** кандидат педагогічних наук, доцент, вчитель вищої категорії, вчитель-методист Криворізького ліцею № 129 Криворізької міської ради.

**P28** Імерсивні платформи та застосунки для організації навчання природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв: метод. реком. / Рашевська Н.В. Київ : ІЦО НАПН України, 2026. 122 с.

Методичні рекомендації присвячені використанню імерсивних технологій у процесі організації навчання з природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв. Визначено дидактичний потенціал імерсивних середовищ для формування дослідницьких компетентностей, просторового та критичного мислення учнів. Запропоновано авторську систему критеріїв для обґрунтованого добору цифрових ресурсів, що охоплює технічні, дидактичні та когнітивні параметри. Здійснено систематизацію сучасних сервісів за рівнями імерсивності та типами взаємодії (AR-платформи, VR-сценарії, інтерактивні лабораторії (PhET, Labster), 3D-конструктори (Tinkercad) та інтегровані середовища (mozaBook, AR\_Book)). Надано детальні методичні поради щодо використання імерсивних інструментів на різних етапах уроку (пояснення, дослідження, закріплення) для таких предметів, як фізика, хімія, біологія, математика та астрономія.

© ІЦО НАПН України, 2026.

© Рашевська Н. В.

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. Теоретичні засади та педагогічна доцільність використання імерсивних технологій у природничо-математичній освіті .....	6
2. Платформи для організації імерсивного навчання природничо-математичних предметів.....	9
2.1. AR-платформи для візуалізації навчального матеріалу .....	11
2.2. VR-платформи для створення та дослідження віртуальних середовищ .....	12
2.3. Інтерактивні лабораторії та симулятори природничих процесів.....	14
2.4. 3D-конструктори та платформи просторового моделювання.....	17
2.5. Інтегровані мультимедійні середовища з AR/3D-навчальними матеріалами.....	19
2.6. Дидактико-методичні характеристики платформ .....	21
3. Платформи та застосунки для організації імерсивного навчання математики в академічних ліцеях.....	39
3.1. Платформи динамічної геометрії .....	39
3.2. Платформи для побудови та дослідження функцій і 3D-графіки .....	41
3.3. Мультимедійні середовища для інтерактивного та ігрового навчання.....	42
3.4. Платформи для створення математичних анімацій і медіаматеріалів .....	44
3.5. Мобільні застосунки для організації навчання математики.....	45
3.6. Дидактичні та методичні характеристики програм для організації навчання математики .....	47
4. Програми для організації імерсивного навчання фізики в академічних ліцеях .....	55
5. Програми та застосунки для організації імерсивного навчання хімії в академічних ліцеях.....	67
5.1. Інструменти для моделювання молекул та їхньої просторової геометрії.....	68
5.2. Імерсивні та AR-інструменти для навчання хімії.....	72
5.3. AR-застосунки для вивчення періодичної системи елементів .....	79
5.4. Віртуальні хімічні лабораторії та симуляції .....	81
6. Програми та застосунки для організації імерсивного навчання біології в академічних ліцеях.....	85
6.1. Платформи 3D-візуалізації та AR-застосунки анатомії та фізіології .....	85
6.2. Інструменти для молекулярної та клітинної біології (3D-молекули, AR/VR, візуалізація) .....	90

6.3. Віртуальні лабораторії та симуляції біологічних експериментів.....	94
6.4. Платформи з генетики та сучасної біонауки .....	100
7. Програми та застосунки для організації імерсивного навчання географії в академічних ліцеях.....	103
7.1. Глобальні 3D-платформи для візуалізації Землі та ландшафтів.....	103
7.2. AR-/VR-застосунки для просторового вивчення географічних процесів .....	107
7.3. Геоінформаційні системи та цифрові атласи .....	111
7.4. Інтерактивні кліматичні, природничо-географічні та демографічні платформи .....	112
7.5. Конструктори мультимедійних географічних проєктів.....	115
8. Імерсивні мобільні застосунки для вивчення астрономії .....	118

## Вступ

Сучасна українська освіта активно трансформується у напрямі компетентнісного, дослідницького та інтерактивного навчання, що передбачає поєднання традиційних і цифрових засобів пізнання. Цифровізація освітнього простору створила сприятливі умови для впровадження технологій, які забезпечують не лише візуальну наочність, а й моделювання процесів, дослідницьку діяльність та занурення у навчальний контекст. Одним із найбільш перспективних напрямів такої трансформації є використання імерсивних технологій – віртуальної (VR), доповненої (AR) та змішаної (MR) реальності.

Імерсивні середовища надають учням можливість досліджувати об'єкти у форматі 3D, змінювати параметри моделей, спостерігати наслідки власних дій, проводити безпечні експерименти та виконувати дослідницькі завдання. Використання AR/VR/MR розширює дидактичні можливості викладання природничо-математичних дисциплін, стимулює розвиток просторового, критичного та аналітичного мислення, формує дослідницькі компетентності та підвищує мотивацію учнів. У профільних академічних ліцеях це відповідає сучасним підходам STEM-освіти та принципам Нової української школи щодо діяльнісного та практико-орієнтованого навчання.

Методичні рекомендації цього документа спрямовані на підтримку вчителів академічних ліцеїв у впровадженні імерсивних технологій у навчання природничо-математичних предметів. Вони містять класифікацію цифрових інструментів, опис їхніх можливостей та систему критеріїв для педагогічно обґрунтованого добору ресурсів відповідно до навчальних цілей і профільного змісту.

## **1. Теоретичні засади та педагогічна доцільність використання імерсивних технологій у природничо-математичній освіті**

Стрімкий розвиток цифрових технологій відкриває нові можливості для трансформації навчання, проте застосування AR/VR/MR у більшості випадків є фрагментарним і не завжди педагогічно обґрунтованим. Часто вчителі обирають платформи інтуїтивно, без чітких критеріїв добору, що призводить до їхнього використання переважно як демонстраційних засобів.

Основні виклики інтеграції імерсивних технологій охоплюють:

- різний рівень функціональності платформ та вимог до технічного забезпечення;
- відмінності в цифровій компетентності педагогів;
- обмежений час уроку;
- ризики когнітивного перевантаження учнів.

Водночас імерсивні технології мають високий дидактичний потенціал:

- візуалізація складних, абстрактних або недоступних у реальному експерименті процесів (фізичні явища, хімічні реакції, біологічні структури);
- проведення безпечних, контрольованих експериментів та симуляцій, що формує STEM-компетентності;
- моделювання ситуацій, що потребують просторового мислення;
- умови для персоналізованого та самостійного навчання;
- підвищення мотивації та емоційної залученості завдяки ефекту присутності та інтерактивності.

Для ефективного використання AR/VR/MR необхідно дотримуватися методичних принципів:

- відповідність навчальній меті: інструмент має підсилювати зміст уроку, а не відволікати від нього;
- науковість і коректність: моделі мають відображати об'єкти та процеси без спрощень, що спотворюють зміст;

– оптимізація когнітивного навантаження: кількість об'єктів, інтерактивних дій та інформаційних елементів повинна бути помірною;

– поступовість і структурованість: використання імерсивних ресурсів має бути інтегроване в логіку уроку, а не виступати епізодичним доповненням;

– інклюзивність та доступність: врахування можливостей учнів з різними потребами, включно з учнями, які можуть відчувати дискомфорт у VR-середовищах;

– технічна реалістичність: обраний інструмент має відповідати технічним можливостям закладу та рівню підготовки учнів.

Дотримання цих принципів забезпечує не лише технологічно коректне, а й методично виважене використання імерсивних середовищ у процесі навчання.

Ураховуючи різноманіття платформ і постійне оновлення інструментів, для обґрунтованого вибору ресурсів пропонується система критеріїв, яка охоплює технічні, дидактичні, когнітивні та організаційні параметри. Вона надає педагогам можливість оцінити потенціал платформи, порівняти інструменти та визначити їхню відповідність навчальній меті, рівню підготовки учнів та можливостям закладу.

Детальні критерії подано в таблиці нижче, яка слугує практичним інструментом для планування уроків, створення дидактичних матеріалів та інтеграції імерсивних технологій у природничо-математичну освіту.

### Аналітична таблиця критеріїв відбору імерсивних технологій для організації навчання

Критерій	Запитання для аналізу	Позитивні індикатори	Можливі ризики / обмеження	Очікуваний педагогічний ефект
<b>1. Відповідність дидактичній меті</b>	Чи підтримує технологія цілі уроку? Чи відповідає тип взаємодії етапу уроку?	Пряма відповідність меті, підсилює візуалізацію, моделювання, дослідження	Невідповідність етапу; надмірна візуалізація; відволікання від змісту	Поглиблене засвоєння матеріалу; краща інтеріоризація понять
<b>2. Рівень когнітивної складності</b>	Чи відповідає віковому рівню? Чи розвиває мислення вищого порядку?	Підтримка аналізу, синтезу, оцінювання; адаптований контент	Надмірна складність або спрощення	Розвиток критичного мислення; підвищення пізнавальної активності
<b>3. Дослідницький потенціал</b>	Чи можна змінювати параметри, проводити експерименти?	Інтерактивність, маніпуляції, моделювання	Пасивна взаємодія; відсутність змін параметрів	Формування дослідницьких навичок; розвиток STEM-компетентностей
<b>4. Інтеграція в освітній процес</b>	Чи можлива інтеграція в LMS або змішане навчання?	Експорт результатів, сумісність із Classroom, QR-коди	Обмежена інтеграція; додаткові платформи	Зручність використання; підвищення керованості уроку
<b>5. Технічні вимоги та доступність</b>	Чи потрібне обладнання? Чи доступна локалізація / українська версія?	Працює на смартфонах/ПК, офлайн-режим, безоплатна версія	Високі технічні вимоги; нестабільний інтернет	Рівний доступ для учнів; можливість широкого застосування
<b>6. Методична підтримка</b>	Чи є уроки, приклади, шаблони, спільнота?	Готові сценарії, відеоінструкції, спільнота	Недостатня підтримка; потреба в додатковому навчанні вчителя	Підвищення якості педагогічного дизайну
<b>7. Диференціація та інклюзія</b>	Чи можна адаптувати рівень складності для різних учнів?	Гнучкі налаштування; інклюзивний дизайн	Відсутність адаптивності; дрібні елементи інтерфейсу	Підвищення доступності для різних груп учнів
<b>8. Можливості оцінювання</b>	Чи є трекінг прогресу, вбудовані тести, експорт оцінок?	Історія взаємодій, вбудовані тести, експорт оцінок	Відсутність оцінювальних модулів	Формування зворотного зв'язку; підтримка формувального оцінювання

## 2. Платформи для організації імерсивного навчання природничо-математичних предметів

Різноманіття сучасних імерсивних освітніх платформ зумовлює потребу у їх науково-методичній систематизації. Класифікацію здійснено за трьома критеріями:

- рівнем імерсивності (AR, VR, 3D-моделювання, інтегровані мультимедіа);
- типом взаємодії учня з цифровими матеріалами (споглядання, маніпуляція, дослідження, конструювання);
- дидактичною функцією, яку виконує ресурс у процесі навчання (візуалізаційна, дослідницька, моделювальна, інтеграційна, мотиваційна).

*Таблиця 1.*

### Класифікація імерсивних платформ за дидактичними можливостями

Тип платформи	Приклади	Дидактичні можливості та методичне призначення
AR-платформи для візуалізації навчального матеріалу	ThingLink; Merge EDU	Забезпечують візуалізацію навчального матеріалу через 3D-об'єкти, анімації та доповнену реальність. Сприяють формуванню просторового мислення, підвищують інтерес до навчання, надають учням можливість взаємодіяти з цифровими об'єктами в реальному середовищі.
VR-платформи для створення та дослідження віртуальних середовищ	CoSpaces Edu; ClassVR	Надають можливість створювати власні віртуальні простори, програмувати взаємодії, розвивають дослідницькі та творчі навички, логічне мислення, командну роботу.
Інтерактивні лабораторії та симулятори природничих процесів	PhET; Labster; Go-Labz; Nearpod	Моделюють реальні експерименти в безпечному середовищі, дозволяють учням змінювати параметри явищ, перевіряти гіпотези, робити висновки. Розвивають дослідницьку компетентність і вміння працювати з науковими моделями.
3D-конструктори та платформи просторового моделювання	Tinkercad; Panoform	Дають можливість створювати власні тривимірні об'єкти, спостерігати за змінами форм, кутів, пропорцій. Підтримують STEM- і STEAM-підходи, розвивають інженерне мислення.

Тип платформи	Приклади	Дидактичні можливості та методичне призначення
Інтегровані мультимедійні середовища з AR/3D-контентом	AR_Book; MozaBook	Поєднують інтерактивні енциклопедії, 3D-анімації, навчальні відео та AR-моделі. Забезпечують комплексну підтримку уроків і самостійної роботи учнів, сприяють формуванню міжпредметних зв'язків.

Наведена класифікація відображає, що кожен тип імерсивних платформ виконує у навчальному процесі власну дидактичну функцію:

- AR- і VR-платформи орієнтовані на підвищення рівня занурення, мотивації та залученості учнів;
- інтерактивні лабораторії формують дослідницькі навички та розуміння причинно-наслідкових зв'язків;
- 3D-конструктори розвивають просторово-інженерне мислення й підтримують STEM-орієнтацію навчання;
- інтегровані мультимедійні середовища забезпечують системність, міждисциплінарність та гнучкість у доборі навчальних матеріалів.

Таким чином, доцільне комбінування зазначених типів ресурсів надає можливість вчителю будувати процес навчання на основі принципів візуалізації, інтерактивності та дослідницької діяльності, що відповідає сучасним вимогам профільної освіти в академічному ліцеї.

#### ***Методичні рекомендації для вчителя:***

1. Оптимально використовувати 1-2 імерсивні інструменти на одному уроці, щоб уникнути перевантаження учнів та забезпечити сфокусованість на основному навчальному завданні.
2. Завчасно визначати дидактичну мету та місце імерсивних технологій у структурі уроку, плануючи етапи, на яких їх використання є методично обґрунтованим і сприятиме досягненню результатів навчання.
3. Забезпечувати учнів чіткими інструкціями та алгоритмами роботи з AR/VR/3D-інструментами, особливо під час виконання дослідницьких та практичних завдань.

4. Здійснювати педагогічну рефлексію після уроків з імерсивними технологіями, фіксуючи ефективні прийоми, труднощі та реакції учнів з метою подальшого вдосконалення методики.

Опишемо ключові платформи для імерсивного навчання.

### **2.1. AR-платформи для візуалізації навчального матеріалу**

Доповнена реальність (AR) створює умови для інтеграції віртуальних об'єктів у реальний простір, завдяки чому учень не лише спостерігає, а й взаємодіє з навчальним змістом. Її головна дидактична цінність – зміщення акценту від пасивного споглядання до активного дослідження.

<b>Платформа</b>	<b>Опис</b>	<b>Дидактичний потенціал</b>
<b>ThingLink</b>	міжнародна освітня платформа для створення інтерактивних зображень, відео та 360° навчальних матеріалів з елементами AR.	Сприяє розвитку просторового мислення, критичного мислення та дослідницького підходу через інтерактивні мітки (hotspots), які надають учням можливість досліджувати об'єкти та взаємодіяти з навчальними відомостями у різних форматах.
<b>Merge EDU Platform</b>	платформа для організації імерсивного навчання, яка поєднує фізичні та цифрові компоненти, включно з використанням Merge Cube.	Допомагає візуалізувати абстрактні наукові поняття, розвивати просторове мислення, формувати дослідницькі компетентності та підвищувати мотивацію учнів через інтерактивні завдання та ігрові елементи.
<b>McGraw Hill AR</b>	безоплатний освітній застосунок для учнів 6-12 класів із математики, природничих, соціальних наук та англійської мови.	Забезпечує короткі AR-сесії для візуалізації складних понять, підвищення мотивації та розвитку критичного мислення, уміння працювати з науковими моделями.

*Методичні можливості AR-платформ:*

- створення інтерактивних уроків та презентацій з використанням зображень, відео, аудіо, 3D-об'єктів та AR-моделей;
- підтримка індивідуальної та групової роботи, проєктної та дослідницької діяльності;

- інтеграція фізичних та цифрових об'єктів для імерсивного досвіду;
- організація очного, дистанційного та змішаного навчання;
- використання готових навчальних матеріалів, планів уроків та методичних рекомендацій для вчителів.

*Методична особливість.* AR-платформи ефективні для етапу пояснення нового матеріалу й формування наочно-образних уявлень. Вони створюють основу для подальших дослідницьких і практико-орієнтованих дій у VR або симуляційних середовищах.

*Практичні рекомендації* для використання AR-платформ:

- застосовувати 3D-об'єкти та інтерактивні мітки для пояснення складних або абстрактних понять;
- поєднувати готові ресурси з власними завданнями для диференціації та розвитку дослідницьких і творчих умінь;
- залучати учнів до створення власних моделей, експериментів і досліджень;
- інтегрувати AR-досвід у STEM-заняття та інтегровані уроки;
- поєднувати імерсивний досвід з обговоренням результатів для розвитку критичного мислення.

## **2.2. VR-платформи для створення та дослідження віртуальних середовищ**

Віртуальна реальність відкриває можливості для створення навчальних середовищ, у яких учень може досліджувати, експериментувати та взаємодіяти з моделями об'єктів і явищ. Основна дидактична цінність VR полягає у формуванні глибокого розуміння складних понять через ефект присутності та залучення учня до активної дослідницької діяльності.

<b>Платформа</b>	<b>Опис</b>	<b>Дидактичний потенціал</b>
<i>CoSpaces Edu</i>	кросплатформна система для створення VR- і AR-сцен, 3D-моделей і симуляцій.	Сприяє розвитку просторового та логічного мислення, творчості й навичок програмування. Забезпечує можливість самостійного конструювання віртуальних об'єктів,

Платформа	Опис	Дидактичний потенціал
		що підвищує пізнавальну активність і формує дослідницькі компетентності.
<i>ExpeditionsPro</i>	інструмент для створення та проведення віртуальних екскурсій і 360°-турів.	Розвиває просторове мислення, аналітичні навички, сприяє формуванню глобального бачення світу. Віртуальні подорожі забезпечують ефект присутності та підвищують інтерес до навчання через емоційне занурення.
<i>Class VR</i>	інтегрована освітня система VR/AR, яка поєднує гарнітури, програмне забезпечення та бібліотеку навчальних матеріалів.	Сприяє формуванню критичного та системного мислення, розвитку наукового підходу та цифрових компетентностей через взаємодію з 3D- і VR-контентом.

*Методичні можливості VR-платформ:*

- створення власних віртуальних просторів, симуляцій і 3D-моделей для вивчення абстрактних понять;
- організація віртуальних екскурсій, лабораторій та дослідницьких проєктів;
- інтеграція VR-досвіду в STEM-заняття, міжпредметні курси та «перевернуте навчання»;
- формування дослідницьких і проєктних компетентностей через активну взаємодію з цифровим середовищем;
- використання VR як інструмента візуалізації складних процесів, недоступних для прямого спостереження в реальному житті.

*Методична особливість.* VR-технології найбільш доцільні на етапі формування глибокого розуміння закономірностей, розвитку дослідницьких і проєктних навичок. Вони підтримують діяльнісний і компетентнісний підходи, коли учень виступає не спостерігачем, а конструктором знань.

*Практичні рекомендації для використання VR-платформ:*

- застосовувати VR-сценарії для пояснення тем, що потребують просторового бачення або моделювання процесів;

- організовувати проєктну діяльність, у межах якої учні створюють власні віртуальні середовища або симуляції;
- комбінувати VR-досвід із рефлексивним обговоренням, аналітичними завданнями чи тестами;
- використовувати VR-екскурсії для розширення контексту навчання (історія, географія, біологія);
- впроваджувати VR у змішаному навчанні як інструмент самостійного дослідження;
- враховувати технічні обмеження (наявність гарнітур, якість мережі, час на підготовку).

### **2.3. Інтерактивні лабораторії та симулятори природничих процесів**

Інтерактивні лабораторії та симулятори забезпечують можливість дослідження фізичних, хімічних, біологічних та інженерних явищ у безпечному цифровому середовищі. Вони надають учням можливість проводити експерименти, змінювати параметри моделей, спостерігати за результатами та робити висновки на основі отриманих даних. Основна дидактична цінність цих платформ полягає у розвитку дослідницьких умінь, формуванні наукового мислення та розумінні закономірностей природних процесів через активну взаємодію з віртуальними моделями.

<b>Платформа</b>	<b>Опис</b>	<b>Дидактичний потенціал</b>
<b>Labster</b>	комерційна інтерактивна платформа з великою кількістю STEM-симуляцій, що відтворюють реальні лабораторні умови з біології, хімії, фізики та медицини.	Формує дослідницькі навички, критичне мислення та наукову грамотність; надає: 1) доступ до тривимірних імерсивних симуляцій лабораторних експериментів; 2) автоматизоване оцінювання із миттєвим зворотним зв'язком та формуванням індивідуальних звітів; 3) можливість адаптації курсів і навчальних модулів до освітніх програм; 4) масштабоване використання як повноцінних лабораторних занять, так і допоміжного ресурсу для традиційних уроків.

<b>Платформа</b>	<b>Опис</b>	<b>Дидактичний потенціал</b>
<b><i>PhET Interactive Simulations</i></b>	набір симуляцій природничих процесів, створених Університетом Колорадо, що охоплюють фізику, хімію, біологію та математику.	Забезпечує візуалізацію абстрактних понять, сприяє розвитку логічного та аналітичного мислення, дозволяє експериментувати з параметрами моделей.
<b><i>Go-Labz</i></b>	освітня екосистема для створення та використання онлайн-лабораторій, віртуальних експериментів і навчальних сценаріїв.	Сприяє розвитку дослідницьких і аналітичних навичок; дає змогу створювати персоналізовані лабораторії та інтегрувати їх у LMS.
<b><i>PraxiLabs</i></b>	комерційна 3D-лабораторія для вивчення хімії, біології та фізики з реалістичними симуляціями лабораторних експериментів.	Наближена до реалістичних лабораторій; підходить для демонстрацій, підготовки до практичних занять; містить звіти про дії учнів.
<b><i>Explore Learning Gizmos</i></b>	бібліотека інтерактивних STEM-симуляцій для дослідження природничих та математичних закономірностей.	Сприяє формуванню навичок аналізу, порівняння й узагальнення даних, підтримує диференціацію навчання та тренувальні навички.
<b><i>LabXchange</i></b>	освітня платформа Гарвардського університету, що поєднує відеоуроки, інтерактивні лабораторії та наукові симуляції.	Підтримує персоналізовані навчальні маршрути; інтегрує симуляції з відео й текстами; корисна для глибоких модулів і підготовки вищого рівня.
<b><i>Nearpod</i></b>	платформа для створення інтерактивних уроків із вбудованими вікторинами, 3D-моделями, AR-елементами та симуляціями; працює в синхронному й асинхронному режимах.	Підвищує залучення і мотивацію; поєднує візуалізацію, формувальне оцінювання і короткі інтерактивні дослідження; зручна для дистанційної роботи й моніторингу.
<b><i>Brilliant</i></b>	Платформа для інтерактивного вивчення математики, логіки, фізики з практичними задачами і короткими уроками.	Розвиває аналітичне, алгоритмічне мислення; корисна як тренажер для формування математичних компетентностей (додатково до лабораторій).

<b>Платформа</b>	<b>Опис</b>	<b>Дидактичний потенціал</b>
<b>Molecular Workbench</b>	безоплатна освітня платформа від Concord Consortium для моделювання молекулярних і частинкових процесів.	Показує процеси на молекулярному/атомному рівнях; розвиває глибоке розуміння матеріалів, реакцій і фізичних явищ.
<b>MERLOT Virtual Labs</b>	репозиторій відкритих ресурсів: віртуальні лабораторії й симуляції з різних дисциплін.	Дає доступ до різноманітних готових лабораторних сценаріїв; зручно підбирати матеріали за предметом і рівнем.
<b>OLabs</b>	безоплатні віртуальні лабораторії (фізика, хімія, біологія, математика) з мультимедійними поясненнями.	Підходить для шкільного рівня (6–12 клас); корисна для підготовки й відпрацювання навичок, має офлайн-версію.

*Методичні можливості інтерактивних лабораторій і симуляторів:*

- проведення віртуальних експериментів у безпечному середовищі з можливістю зміни параметрів і спостереження за результатами;
- візуалізація складних мікро- або макропроцесів, недоступних для безпосереднього спостереження;
- моделювання ситуацій, які неможливо реалізувати в реальній лабораторії через обмеження часу, обладнання чи безпеки;
- створення власних навчальних сценаріїв та інтеграція симуляцій у змішані або дистанційні курси;
- організація дослідницьких і проєктних робіт учнів з аналізом отриманих даних;
- формування STEM-компетентностей, цифрової грамотності та навичок критичного мислення.

*Методична особливість.* Інтерактивні лабораторії доцільно використовувати для розвитку дослідницьких компетентностей і формування розуміння причинно-наслідкових зв'язків у природних процесах. Інтерактивні лабораторії доцільно застосовувати на етапі дослідження та закріплення знань, коли необхідно розвивати науковий стиль мислення, навички аналізу й формулювання висновків.

*Практичні рекомендації* щодо використання:

- використовувати симуляції для підготовки до реальних лабораторних робіт або як їх заміну в умовах дистанційного навчання;
- добирати ресурси за рівнем складності та відповідністю програмним вимогам;
- поєднувати роботу в симуляторах із формувальним оцінюванням, аналітичними завданнями та обговоренням результатів;
- застосовувати лабораторії у STEM-проектах для дослідження міждисциплінарних тем;
- залучати учнів до створення власних моделей або навчальних сценаріїв;
- забезпечити технічну готовність: стабільний інтернет, актуальні браузерери та відповідність пристроїв вимогам платформи.

#### **2.4. 3D-конструктори та платформи просторового моделювання**

Технології 3D-моделювання дають змогу створювати, змінювати й досліджувати тривимірні об'єкти, що сприяє розвитку просторового мислення, інженерного підходу та креативності учнів. Дидактична цінність таких платформ полягає в переході від пасивного сприйняття знань до активного конструювання, експериментування та візуалізації навчального змісту.

<b>Платформа</b>	<b>Опис</b>	<b>Дидактичний потенціал</b>
<b><i>Panoform</i></b>	безоплатна вебплатформа, що перетворює 2D-зображення на інтерактивні 3D-моделі, які можна переглядати у форматі VR. Працює на більшості пристроїв.	Сприяє розвитку просторового мислення, розумінню абстрактних понять, формує навички дослідницької та групової роботи. Підвищує мотивацію через створення інтерактивних візуалізацій.
<b><i>Tinkercad</i></b>	безоплатна онлайн-платформа від Autodesk для створення 3D-моделей і базової електроніки. Має простий інтерфейс і підтримує інтеграцію з Arduino.	Розвиває технічне та творче мислення, інженерні навички, вміння працювати з просторовими моделями. Сприяє інтеграції STEM-компонентів і формує базові навички цифрового дизайну.

Платформа	Опис	Дидактичний потенціал
<i>Sketchfab Education</i>	вебплатформа для перегляду, редагування та демонстрації 3D-моделей у браузері або через VR. Підтримує взаємодію з готовими моделями, надає можливість вбудовувати 3D-об'єкти в сайти та презентації.	Сприяє розвитку візуального та просторового мислення, надає можливість дослідження складних структур (біологічних, технічних тощо). Стимулює пізнавальну активність через інтерактивну взаємодію з об'єктами.

*Методичні можливості 3D-конструкторів:*

- створення інтерактивних 3D-моделей для візуалізації складних процесів або об'єктів у фізиці, біології, математиці, технологіях;
- організація проектно-дослідницької діяльності, у межах якої учні моделюють власні об'єкти або системи;
- інтеграція створених моделей у STEM-заняття, проектні тижні чи міжпредметні уроки;
- використання платформ для моделювання та подальшого 3D-друку навчальних об'єктів;
- створення колекцій учнівських моделей як електронного портфоліо або складника навчального оцінювання.

*Методична особливість.* 3D-конструктори ефективні на етапі застосування знань у практичних завданнях, зокрема під час реалізації STEM- і STEAM-проектів. Вони розвивають творчість і навички технічного моделювання.

*Практичні рекомендації щодо використання:*

- залучати учнів до створення моделей як способу формування просторової уяви та системного мислення;
- поєднувати 3D-моделювання з експериментами або аналітичними обговореннями;
- використовувати готові бібліотеки моделей як шаблони для адаптації під власні навчальні теми;

– за можливості поєднувати цифрові 3D-моделі з реальними об’єктами (через AR або 3D-друк);

– інтегрувати роботу в Panoform і Tinkercad у структуру проєктно-орієнтованого та STEM-навчання.

## **2.5. Інтегровані мультимедійні середовища з AR/3D-навчальними матеріалами**

Інтегровані мультимедійні середовища, що поєднують технології доповненої реальності, тривимірні моделі та інтерактивні ресурси, забезпечують поглиблену візуалізацію навчального матеріалу та підтримують активну взаємодію учнів з ним. Їхня дидактична цінність полягає у створенні імерсивного середовища, де учні можуть досліджувати складні концепції, виконувати віртуальні експерименти, аналізувати об’єкти та інтегрувати знання з різних галузей.

<b>Платформа</b>	<b>Опис</b>	<b>Дидактичний потенціал</b>
<b>AR_Book</b>	українська освітня платформа з AR-контентом: інтерактивні уроки, 3D-моделі, освітні відео й віртуальні експерименти, розроблені відповідно до чинних навчальних програм.	розвиває просторове та дослідницьке мислення; забезпечує візуалізацію абстрактних понять; підвищує мотивацію; підтримує диференціацію навчання.
<b>mohaBook</b>	інтерактивне програмне забезпечення з великою бібліотекою 3D-сцен, анімацій, симуляцій та цифрових уроків; підтримує використання на різних пристроях	підсилює розуміння складних явищ через наочність; розвиває дослідницькі, аналітичні та практичні вміння; забезпечує індивідуалізацію навчання
<b>Google Arts &amp; Culture</b>	онлайн-платформа з доступом до колекцій музеїв та інтерактивних мистецьких і культурних ресурсів (віртуальні тури, 3D-артефакти, AR)	розвиває критичне мислення та навички аналізу; підтримує міжпредметні зв’язки (мистецтво, історія, природничі науки); підвищує мотивацію через імерсивність навчального матеріалу.
<b>Assemblr</b>	платформа для створення AR/VR/3D навчальних матеріалів, освітніх презентацій, інтерактивних	розвиває просторове та критичне мислення, творчість і навички командної роботи; забезпечує візуалізацію складних явищ і підтримує проєктне навчання

Платформа	Опис	Дидактичний потенціал
	моделей та спільних проєктів у Metaverse	

*Методичні можливості* інтегрованих мультимедійних середовищ:

- наочне подання складних процесів і явищ за допомогою 3D-моделей, симуляцій та AR-об’єктів;
- проведення віртуальних експериментів у безпечному середовищі;
- створення інтерактивних уроків, що поєднують текст, відео, моделі та практичні завдання;
- організація індивідуальної, групової та проєктної діяльності;
- інтеграція AR/3D-ресурсів у STEM-уроки, міжпредметні заняття та модулі змішаного навчання;
- формувальне оцінювання за допомогою інтерактивних завдань і симуляцій;
- створення авторських навчальних матеріалів (AR-сцен, цифрових моделей, інтерактивних презентацій).

*Методична особливість.* Інтегровані мультимедійні середовища є найбільш ефективними під час вивчення абстрактних, складних або багаторівневих явищ, що потребують:

- багатовимірної візуалізації;
- моделювання процесів, які неможливо відтворити в реальних умовах;
- глибокого контекстного занурення (культура, історія, біологія, фізика);
- реалізації дослідницького або проєктного підходу.

Інтегровані середовища доречно застосовувати для комплексного навчання, організації змішаних або імерсивних уроків, а також у системі самоосвіти учнів. Вони забезпечують міжпредметні зв’язки та допомагають учням осмислювати навчальний матеріал у контексті реальних явищ. Вони забезпечують імерсивний формат навчання, що підсилює емоційне сприйняття, формує інтерес та сприяє запам’ятовуванню.

*Практичні рекомендації* щодо використання:

- застосовувати AR/3D-контент для пояснення складних тем, що потребують просторової уяви;
- використовувати платформи під час інтегрованих занять, STEM-модулів та міжпредметних проєктів;
- поєднувати цифрові ресурси з традиційними методами (обговорення, аналіз, експерименти);
- залучати учнів до створення власного AR/3D-контенту для розвитку творчості та критичного мислення;
- використовувати матеріали AR\_Book, mozaBook, Assemblr як основу для «перевернутого класу»;
- організовувати онлайн-екскурсії та дослідницькі завдання за допомогою Google Arts & Culture;
- застосовувати інструменти платформ для формувального оцінювання та рефлексії;
- створювати колекції інтерактивних матеріалів (мінімузеї, AR-проєкти, 3D-галереї) як елемент електронного портфоліо.

## **2.6. Дидактико-методичні характеристики платформ**

### **ThingLink**



ThingLink (<https://www.thinglink.com>) – міжнародна освітня платформа для створення інтерактивних зображень, відео та 360°-контенту з елементами доповненої реальності. Платформа сприяє візуалізації навчальних матеріалів, надає можливість інтегрувати мультимедійні ресурси та використовувати готові освітні матеріали, що відповідають шкільним програмам. Базові функції доступні безоплатно, розширені можливості потребують підписки.

*Дидактичний потенціал.* Використання ThingLink сприяє розвитку просторового мислення, критичного та дослідницького підходів. Інтерактивні

мітки (hotspots) дозволяють учням досліджувати об'єкти, взаємодіяти з текстом, відео, аудіо та 3D-ресурсами, глибше розуміти складні концепції.

*Методичні можливості.* Створення інтерактивних уроків і презентацій, поєднання зображень, відео, аудіо, посилань та 3D-об'єктів; організація індивідуальної та групової роботи; підтримка дистанційного та змішаного навчання; контроль засвоєння знань через інтерактивні завдання.

*Практичні рекомендації:*

– використовувати інтерактивні зображення для пояснення тем, що потребують візуалізації просторових або складних процесів (біологія, хімія, фізика, географія);

– поєднувати готові уроки ThingLink із власними завданнями для диференціації навчання;

– створювати проекти учнів з інтерактивними елементами для розвитку дослідницьких та креативних умінь;

– використовувати можливості віддаленого доступу для організації дистанційних або змішаних уроків.

### **Merge EDU Platform**



Merge EDU Platform (<https://mergeedu.com>) – платформа для організації імерсивного навчання, що поєднує фізичні та цифрові компоненти, включно з фізичним об'єктом Merge Cube. Платформа надає базовий безоплатний доступ для вчителів, проте частина контенту та розширених функцій потребує підписки.

*Дидактичний потенціал.* Розвиває просторове мислення, навички роботи з 3D-об'єктами, формує дослідницькі вміння та науковий підхід. Платформа сприяє візуалізації абстрактних наукових понять і процесів, підвищує мотивацію через ігрові та імерсивні завдання.

*Методичні можливості.* Створення інтерактивних уроків з використанням фізичного Merge Cube і цифрових матеріалів. Проведення практичних і дослідницьких занять з різних дисциплін (фізика, хімія, біологія, історія, математика). Використання AR та VR для демонстрації складних процесів у

реальному часі. Налаштування навчальних сценаріїв для індивідуальної або групової роботи учнів. Інтеграція елементів ігрового навчання для підвищення залученості учнів.

*Практичні рекомендації:*

- використовувати Merge Cube для візуалізації абстрактних понять, які складно пояснити традиційними методами;
- поєднувати інтерактивні експерименти з обговоренням результатів для розвитку критичного мислення;
- залучати учнів до створення власних моделей та досліджень для формування дослідницьких компетентностей;
- використовувати платформу у STEM-проектах та інтегрованих уроках для комплексного розвитку учнів.

### **McGraw Hill AR**



McGraw Hill AR (<https://www.mheducation.com/prek-12/explore/mcgraw-hill-ar.html>) – частково безоплатний освітній застосунок для учнів 6–12 класів, що охоплює математику, природничі, соціальні науки та англійську мову. Додаток використовує AR для занурення учнів у навчальний процес, забезпечуючи 3–5-хвилинні інтерактивні сесії. Доступ до готових уроків та матеріалів можливий через Verizon Innovative Learning HQ.

*Дидактичний потенціал:* візуалізація складних понять через 3D-об'єкти та інтерактивні завдання; підвищення мотивації та розвиток критичного мислення; легка інтеграція у традиційний урок або використання як доповнення до основного матеріалу.

*Методичні можливості:* використання AR-сцен для пояснення абстрактних тем; поєднання гри та навчання через інтерактивні завдання; наявність готових матеріалів та планів уроків; підтримка очного, дистанційного та змішаного навчання.

*Практичні рекомендації:*

- використовувати AR-активності для візуалізації процесів, що є складними для сприйняття у 2D (наприклад, клітинні структури, фізичні явища, геометричні фігури);
- інтегрувати короткі AR-сесії на етапах мотивації чи закріплення матеріалу;
- залучати учнів до обговорення та аналізу моделей після AR-дослідження;
- поєднувати з іншими цифровими ресурсами McGraw Hill для комплексної підтримки уроку.

**CoSpaces Edu**



CoSpaces Edu (<https://cospaces.io/edu>) – платформа для створення VR- та AR-навчальних матеріалів, що підтримує інтерактивне й дослідницьке навчання. Вона дає змогу створювати 3D-моделі, віртуальні простори та інтерактивні ігри, сприяючи розвитку творчості, критичного та просторового мислення учнів. Платформа доступна у безоплатному режимі та за підпискою.

*Дидактичний потенціал.* Розвиває просторове та логічне мислення через створення персональних 3D-просторів і симуляцій. Забезпечує дослідницьку активність учнів у природничо-математичних дисциплінах (фізика, хімія, біологія, астрономія, математика, географія). Формує цифрові компетентності та навички програмування через візуальне програмування 3D-сцен і інтерактивних моделей. Підвищує мотивацію та зацікавленість через імерсивний досвід без потреби додаткових маркерів або QR-кодів.

*Методичні можливості.* Створення персональних навчальних 3D-просторів і інтерактивних моделей фізичних, хімічних та біологічних явищ; організація віртуальних екскурсій і турів 360° для уроків біології, географії та історії; використання AR для інтеграції цифрових об'єктів у реальне середовище; створення навчальних ігор і симуляцій із поєднанням тексту, мультимедіа та програмування. Платформа доступна у веббраузері, на ПК і мобільних пристроях.

*Практичні рекомендації:*

- використовувати для візуалізації абстрактних або складних тем;

– залучати учнів до проєктної діяльності: створення моделей, симуляцій і навчальних ігор;

– планувати уроки у форматі «перевернутого класу», де учні самостійно досліджують VR-сцени перед заняттям, а під час уроку обговорюють результати;

– інтегрувати платформу в STEM-заняття та міжпредметні проєкти, підвищуючи мотивацію та сприяючи розвитку критичного мислення.

### **ExpeditionsPro**



ExpeditionsPro (<https://expeditionpro.com/>) – платформа для проведення віртуальних екскурсій та 360°-турів, що надає можливість досліджувати географічні, біологічні, історичні та культурні об'єкти. Платформа має бібліотеку готових матеріалів і дає змогу створювати власні 360°-тури. Частина матеріалів доступна безоплатно, частина – за підпискою.

*Дидактичний потенціал.* Сприяє формуванню просторового мислення, розширює світогляд учнів, розвиває аналітичні та дослідницькі навички. Віртуальні екскурсії створюють ефект присутності та підвищують мотивацію до навчання.

*Методичні можливості.* Проведення готових 360°-екскурсій; створення власних інтерактивних турів; інтеграція віртуальних екскурсій в уроки та проєктну діяльність; поєднання турів із тестами, опитуваннями та завданнями для закріплення матеріалу.

#### *Практичні рекомендації:*

– використовувати готові тури для демонстрації природничих та історичних процесів;

– створювати власні 360°-тури для поглибленого дослідження певної теми;

– поєднувати тури з дискусіями, завданнями та інтерактивними вправами для розвитку критичного мислення;

– використовувати платформу як додатковий ресурс для дистанційного та змішаного навчання.

## ClassVR



ClassVR (<https://www.classvr.com/>) – інтегрована освітня система VR/AR, що включає апаратну частину (VR-гарнітури) та програмну платформу (ClassVR Portal, бібліотеку навчальних матеріалів). Підходить для закладів різних рівнів освіти: від початкової до старшої школи.

*Дидактичний потенціал.* Розвиває просторове та критичне мислення, формує дослідницькі навички й цифрові компетентності. Використання VR/AR-контенту дозволяє візуалізувати абстрактні поняття, досліджувати природні та соціальні явища, моделювати фізичні та хімічні процеси, проводити STEM-заняття та віртуальні екскурсії.

*Методичні можливості:* створення навчальних VR/AR-сценаріїв та інтерактивних уроків; проведення віртуальних екскурсій; інтеграція 3D-моделей, 360°-відео та інтерактивних візуалізацій; управління групою учнів через ClassVR Portal; організація STEM-занять із візуалізацією абстрактних понять.

*Практичні рекомендації:*

- використовувати платформу для вивчення складних або абстрактних тем, що потребують просторового моделювання;
- проводити інтегровані уроки та STEM-проекти з віртуальними експериментами;
- планувати регулярне технічне обслуговування та оновлення гарнітур для забезпечення стабільної роботи;
- використовувати ClassVR для організації групових проєктів та віртуальних екскурсій для підвищення мотивації учнів.

*Обмеження:* 1) висока вартість апаратного забезпечення та ліцензій на контент; 2) необхідність технічної підтримки та організації зберігання й зарядки гарнітур; 3) залежність від регулярного оновлення програмного забезпечення та платних доповнень для розширення бібліотеки матеріалів.

## Nearpod



Nearpod (<https://nearpod.com/>) – онлайн-платформа для створення інтерактивних уроків у синхронному та асинхронному режимах. Підтримує поєднання презентацій, відео, інтерактивних завдань та симуляцій. Доступна як у безоплатному режимі, так і за підпискою для навчальних організацій.

*Дидактичний потенціал.* Підвищує мотивацію та залученість учнів, сприяє розвитку критичного мислення, навичок самостійного опрацювання матеріалу та рефлексії. Забезпечує персоналізоване навчання завдяки миттєвому зворотному зв'язку та аналізу прогресу.

*Методичні можливості.* Проведення інтерактивних уроків із вікторинами, опитуваннями, симуляціями та презентаціями; організація віртуальних екскурсій; поєднання синхронного та асинхронного навчання; формування звітів і аналітика результатів учнів.

*Практичні рекомендації:*

- використовувати вікторини та інтерактивні опитування для формувального оцінювання;
- проводити віртуальні екскурсії та демонстрації складних процесів для покращення розуміння теми;
- поєднувати інтерактивні елементи з обговоренням і груповою роботою для розвитку критичного мислення;
- застосовувати автоматизовану звітність для моніторингу прогресу учнів та диференціації навчання.

## Labster



Labster (<https://www.labster.com/>) – платна освітня платформа для створення віртуальних лабораторій, орієнтована на STEM-дисципліни (біологія, хімія, фізика, медицина тощо). Платформа забезпечує занурення учнів в інтерактивне лабораторне середовище, наближене до реальних умов, і дозволяє проводити експерименти без потреби в дорогому обладнанні та реактивах.

*Дидактичний потенціал.* Сприяє формуванню дослідницьких компетентностей, розвитку просторового і логічного мислення, а також навичок безпечної роботи з науковими моделями. Інтерактивні симуляції полегшують розуміння абстрактних наукових концепцій та складних процесів.

*Методичні можливості.* Тривимірні імерсивні симуляції лабораторних експериментів; автоматизоване оцінювання з миттєвим зворотним зв'язком; адаптація курсів під освітні програми; використання як повноцінних лабораторних занять або допоміжного ресурсу.

*Практичні рекомендації:*

- використовувати для проведення складних або небезпечних експериментів, які неможливо організувати у класі традиційно;
- поєднувати віртуальні лабораторії з традиційними уроками для підсилення практичного розуміння теми;
- застосовувати автоматизоване оцінювання для моніторингу прогресу учнів та диференційованої роботи;
- використовувати симуляції для розвитку критичного та дослідницького мислення, формування наукових навичок та заохочення до STEM-проектів.

### **PhET Interactive Simulations**



PhET (<https://phet.colorado.edu/>) – безоплатна платформа з інтерактивними симуляціями для природничих наук і математики, доступна онлайн та офлайн.

*Дидактичний потенціал.* Сприяє розвитку дослідницьких та аналітичних компетентностей, критичного мислення та просторової уяви. Надає можливість моделювати фізичні, хімічні та біологічні процеси в безпечному цифровому середовищі.

*Методичні можливості.* Інтерактивне опрацювання концепцій через симуляції; зміна параметрів процесів і використання вимірювальних інструментів; застосування для демонстрацій і самостійної роботи; багатомовна підтримка без потреби у потужному обладнанні.

*Практичні рекомендації:*

- використовувати для моделювання складних або небезпечних явищ;
- поєднувати з традиційними уроками;
- використовувати інструменти вимірювання для розвитку навичок експериментальної роботи;
- заохочувати самостійні дослідження учнів.

**LabXchange**



LabXchange (<https://www.labxchange.org/>) – безоплатна платформа для середньої та вищої шкіл, що підтримує дистанційне та змішане навчання в науках про життя та математиці.

*Дидактичний потенціал.* Сприяє формуванню дослідницьких умінь, критичного мислення та самостійності. Підтримує персоналізоване навчання та інтеграцію знань із різних джерел.

*Методичні можливості.* Створення навчальних шляхів (pathways) із відео, симуляцій та текстових матеріалів; організація дистанційного та змішаного навчання; персоналізація завдань; інтеграція ресурсів інших платформ.

*Практичні рекомендації:*

- створювати комплексні навчальні маршрути;
- заохочувати самостійні дослідження;
- використовувати для дистанційного та STEM-навчання;
- забезпечувати підтримку учням під час роботи з англomовними матеріалами.

**Go-Labz**



Go-Labz (<https://www.golabz.eu/>) – європейська платформа для інтерактивного та дистанційного навчання у STEM-дисциплінах із безоплатним доступом до цифрових лабораторій і симуляцій.

*Дидактичний потенціал.* Розвиває дослідницькі й аналітичні навички, уміння працювати з науковими моделями, стимулює самостійне та групове навчання.

*Методичні можливості.* Організація віртуальних лабораторних робіт, створення персоналізованих навчальних сценаріїв, моніторинг прогресу, інтеграція з LMS.

*Практичні рекомендації:* 1) використовувати готові лабораторії та симуляції для пояснення складних природничих явищ; 2) створювати власні освітні сценарії, комбінуючи різні цифрові ресурси; 3) поєднувати використання Go-Labz із класними заняттями та проектною діяльністю для підвищення мотивації учнів; 4) акцентувати на дослідницькому підході та самостійному опрацюванні матеріалу.

### **PraxiLabs**



PraxiLabs (<https://www.praxilabs.com/>) – онлайн-платформа для проведення віртуальних лабораторних занять у сфері природничих наук (біологія, хімія, фізика, медицина). Орієнтована на використання в середній та вищій школах. Платформа надає доступ до тривимірних інтерактивних симуляцій лабораторних експериментів.

*Дидактичний потенціал.* Розвиває дослідницькі компетентності, аналітичне та критичне мислення, підвищує мотивацію завдяки інтерактивності та візуалізації складних процесів.

*Методичні можливості.* Організація віртуальних лабораторних робіт; інтерактивні симуляції з детальним відтворенням обладнання; адаптація сценаріїв під навчальну програму; автоматичне оцінювання та зворотний зв'язок.

*Практичні рекомендації:* 1) використовувати платформу для безпечного демонстрування експериментів, які є складними, небезпечними або дорогими в реальних умовах; 2) поєднувати віртуальні лабораторії з традиційними заняттями та обговореннями для кращого закріплення матеріалу; 3) враховувати обмеження платформи щодо повного відтворення практичних навичок; 4) забезпечувати учням доступ до сучасних пристроїв і стабільного інтернет-з'єднання для роботи з платформою.

## Molecular Workbench



Molecular Workbench (<https://mw.concord.org/>) – безоплатна платформа для інтерактивного моделювання молекулярних та атомних процесів у хімії, фізиці, біології та матеріалознавстві.

*Дидактичний потенціал.* Розвиває дослідницькі компетентності, критичне мислення та розуміння складних процесів через візуалізацію на молекулярному та атомному рівнях.

*Методичні можливості.* Демонстрація молекулярних і атомних процесів; інтерактивні експерименти; створення та модифікація симуляцій; організація самостійної роботи учнів.

*Практичні рекомендації:* 1) використовувати платформу для пояснення складних процесів на молекулярному рівні; 2) поєднувати симуляції з традиційними демонстраціями та лабораторними заняттями; 3) звертати увагу на обмеження порівняно з Labster або PraxiLabs щодо реалістичності лабораторних умов; 4) використовувати веб- та офлайн-версії для забезпечення доступу учнів у різних умовах.

## MERLOT Virtual Labs



MERLOT Virtual Labs (<https://virtuallabs.merlot.org/>) – репозиторій відкритих освітніх ресурсів, що містить віртуальні лабораторії та інтерактивні симуляції з природничих наук, математики, інженерії та технологій. Платформа містить як безоплатні, так і частково платні ресурси, доступні для використання учнями та вчителями.


*Дидактичний потенціал.* Розвиває дослідницькі вміння, критичне і просторове мислення, навички роботи з даними.

*Методичні можливості.* Використання готових інтерактивних лабораторій; адаптація сценаріїв; інтеграція з іншими платформами; підтримка командної роботи.

*Практичні рекомендації:* 1) обирати лабораторії за предметом та рівнем складності відповідно до навчальної програми; 2) використовувати інтерактивні симуляції для пояснення складних концепцій у біології, хімії, фізиці та інженерії;

3) поєднувати з іншими цифровими інструментами для організації проєктної та дослідницької роботи учнів; 4) за потреби застосовувати готові методичні матеріали для підвищення ефективності проведення віртуальних лабораторних робіт.

### **ExploreLearning Gizmos**

 ExploreLearning Gizmos (<https://www.explorellearning.com/>) – освітня платформа, що надає доступ до бібліотеки інтерактивних симуляцій із природничих наук та математики, орієнтована на учнів 3–12 класів. Платформа підтримує STEM-освіту, дозволяючи учням досліджувати наукові явища через моделювання, аналіз даних і візуалізацію процесів у цифровому середовищі.

*Дидактичний потенціал.* Розвиває дослідницькі, аналітичні та критичні вміння, формує наукове мислення та розуміння причинно-наслідкових зв'язків.

*Методичні можливості.* Віртуальні експерименти, інтеграція з традиційними лабораторними роботами, використання симуляцій у груповій чи індивідуальній роботі, оцінювання та зворотний зв'язок.

*Практичні рекомендації:* 1) застосовувати Gizmos для візуалізації абстрактних понять і явищ, які важко відтворити в шкільних умовах; 2) використовувати під час вивчення нових тем як інтерактивний інструмент для постановки проблемного питання; 3) залучати учнів до самостійної роботи з симуляціями для формування навичок експериментування та аналізу; 4) поєднувати платформу з LMS або іншими цифровими інструментами для створення комплексних STEM-уроків.

### **Brilliant**



Brilliant (<https://brilliant.org>) – платформа для розвитку логічного, критичного та аналітичного мислення через математику, природничі науки, інформатику та інженерію; базові курси є безоплатними, повний функціонал – за підпискою.

*Дидактичний потенціал.* Розвиває вміння застосовувати знання, мислити алгоритмічно та розв'язувати складні задачі. Курси побудовані за принципом поступового ускладнення.

*Методичні можливості.* Короткі інтерактивні уроки; індивідуальні навчальні траєкторії; самостійна робота та домашні завдання; ігрові елементи для мотивації; інтеграція курсів у STEM-проєкти та підготовку до олімпіад.

*Практичні рекомендації:*

- застосовувати Brilliant як додатковий інструмент для розвитку логічного мислення та математичних компетентностей;
- поєднувати з традиційними формами навчання, використовуючи платформу для закріплення або тренування навичок;
- організовувати індивідуальне або парне навчання через інтерактивні курси та задачі;
- залучати учнів до щоденних коротких занять (15–20 хвилин), що формують навчальну дисципліну й сталі когнітивні навички.

### **OLabs**



OLabs (<https://www.olabs.edu.in>) – безоплатна освітня платформа для проведення віртуальних лабораторних робіт із фізики, хімії, біології, математики, англійської мови та комп'ютерних наук. Розроблена з метою забезпечення учнів можливістю опанувати експериментальні навички навіть за відсутності фізичних лабораторій. Підходить для використання у шкільному навчанні (6–12 класи) та дистанційній освіті.

*Дидактичний потенціал.* Формує експериментальні компетентності, дослідницькі вміння та наукове мислення. Поєднання теорії та інтерактивних симуляцій забезпечує глибше розуміння явищ.

*Методичні можливості.* Теорія, віртуальні експерименти, питання для самоперевірки, відео- та анімаційні ресурси.

*Практичні рекомендації:*

- застосовувати для підготовки до лабораторних робіт і їх відпрацювання;
- використовувати в дистанційному або змішаному форматі навчання;
- пропонувати учням для самостійного дослідження явищ і перевірки гіпотез;
- поєднувати з груповими обговореннями результатів для розвитку аналітичних умінь.

## Panoform



Panoform (<https://panoform.com/>) – безоплатна вебплатформа для створення навчальних матеріалів у форматі віртуальної реальності. Дає змогу перетворювати 2D-зображення на інтерактивні 3D-сцени, доступні на мобільних пристроях та комп'ютерах, а також переглядати їх за допомогою QR-кодів.

*Дидактичний потенціал.* Розвиває просторове мислення, уміння візуалізувати абстрактні поняття, сприяє формуванню навичок дослідницької діяльності та співпраці. Підвищує мотивацію учнів завдяки інтерактивності та можливості створювати власні VR-матеріали.

*Методичні можливості.* Створення інтерактивних 3D-моделей на основі 2D-зображень; організація групових і індивідуальних проєктів; використання QR-кодів для швидкого доступу до матеріалів; інтеграція VR-композицій у пояснення складних понять у природничих і математичних дисциплінах.

*Практичні рекомендації:*

- використовувати Panoform для візуалізації математичних, фізичних або біологічних процесів;
- створювати завдання для групової роботи з побудови моделей;
- поєднувати створені 3D-моделі з тестами, обговореннями та інтерактивними вправами;
- використовувати платформу як інструмент для формування просторового мислення та цифрових компетентностей.

## Tinkercad



Tinkercad (<https://www.tinkercad.com>) – безоплатна онлайн-платформа від Autodesk для 3D-моделювання, візуального програмування та базової електроніки. Призначена для учнів середньої та старшої школи, новачків у цифровому дизайні, технологіях та інженерії.

*Дидактичний потенціал.* Сприяє розвитку просторового мислення, інженерних та творчих навичок, формує вміння конструювати, моделювати об'єкти

й розв'язувати практичні задачі. Забезпечує інтеграцію STEM-компонентів і стимулює самостійне дослідження.

*Методичні можливості.* Створення тривимірних моделей і навчальних об'єктів у математиці, фізиці, технологіях та дизайні; моделювання електронних схем, зокрема з Arduino; підготовка об'єктів до 3D-друку; демонстрація прикладів із бібліотеки моделей та адаптація їх до освітніх потреб.

*Практичні рекомендації:* 1) використовувати Tinkercad для проєктно-орієнтованого навчання та STEM-занять; 2) поєднувати створені 3D-моделі з інтерактивними завданнями та дискусіями в класі; 3) застосовувати для розвитку просторового мислення та інженерної компетентності учнів.

### **Sketchfab Education**

Sketchfab Education – освітня версія платформи Sketchfab із великою бібліотекою інтерактивних 3D-моделей, створених музеями, науковими центрами, освітніми інституціями та фаховими дизайнерами. Використовується в природничих науках, анатомії, археології, географії, мистецтві та STEAM. Підтримує перегляд у браузері та AR-режим.

*Дидактичний потенціал.* Забезпечує високу наочність та дає змогу досліджувати складні або мікроскопічні об'єкти (клітини, ДНК, білки, анатомічні структури, історичні артефакти, геологічні форми) у форматі 3D. Формує просторове мислення, навички аналізу структури, наукову допитливість і міжпредметні зв'язки.

*Методичні можливості.* Демонстрація інтерактивних моделей, зміна масштабу, ракурсу та режиму візуалізації; використання AR-режиму для «виведення» об'єктів у фізичний простір класу; добір актуальних моделей або створення власних; інтеграція моделей у презентації, електронні уроки, mozaBook, Assemblr, Google Arts & Culture; організація мінідослідження: аналіз структури, порівняння, класифікація.

### *Практичні рекомендації*

– використовувати Sketchfab Education для вивчення об'єктів, які неможливо побачити в реальному житті (мікроструктури, археологічні артефакти, молекули, органи);

– поєднувати платформу з лабораторними онлайн-симуляторами, щоб забезпечити комплексне вивчення теми (структура → функція → процес);

– застосовувати AR-режим під час демонстрацій, практикумів або STEM-занять;

– залучати учнів до створення коротких дослідницьких оглядів за вибраними 3D-моделями (опис структури, функцій, порівняння з підручником або реальними фотографіями).

### **AR\_Book**



AR\_Book (<https://arbook.info/>) – українська освітня платформа, що пропонує інтерактивні матеріали з елементами доповненої та віртуальної реальності відповідно до чинних освітніх програм. Навчальні матеріали охоплюють 3D-моделі, AR-сцени та віртуальні експерименти.

*Дидактичний потенціал.* Платформа полегшує розуміння абстрактних понять через просторову візуалізацію, сприяє розвитку дослідницьких умінь, підтримує диференціацію навчання та підвищує мотивацію учнів.

*Методичні можливості.* Створення інтерактивних уроків, комбінування тексту, відео, зображень та AR/VR-об'єктів; демонстрація 3D-моделей; організація віртуальних експериментів; здійснення формульованого оцінювання через інтерактивні завдання.

### *Практичні рекомендації:*

– використовувати AR/VR-контент для пояснення складних тем, що потребують просторової уяви;

– застосовувати платформу під час інтегрованих уроків та STEM-занять;

– створювати власні уроки або використовувати готові розробки з бібліотеки AR\_Book, адаптуючи їх до потреб учнів;

– проводити формульоване оцінювання через інтерактивні завдання та тести.

## mozaBook



mozaBook (<https://ua.mozaweb.com/uk>) – інтерактивне програмне забезпечення з великою бібліотекою 3D-сцен, симуляцій, анімацій і готових цифрових уроків. Платформа доступна на різних пристроях та підтримує роботу як у класі, так і дистанційно.

*Дидактичний потенціал.* Забезпечує високу наочність складних явищ, розвиває аналітичні й дослідницькі навички, підтримує індивідуалізацію навчання завдяки розгалуженій бібліотеці матеріалів.

*Методичні можливості.* Надає можливість створювати власні уроки, комбінувати мультимедійні навчальні матеріали, використовувати 3D-моделі й симуляції, призначати домашні завдання, відстежувати їх виконання та застосовувати тестові модулі.

*Практичні рекомендації:*

- використовуйте mozaBook для тем, що потребують високої візуалізації;
- плануйте уроки з елементами «перевернутого класу», де учні перед уроком працюють із 3D-сценами, а під час уроку обговорюють та застосовують знання;
- створюйте або адаптуйте матеріали під рівень класу та підготовки учнів, використовуючи бібліотеку mozaBook;
- застосовуйте тестові завдання і домашні вправи через платформу для контролю, рефлексії та аналізу засвоєння теми.

## Google Arts & Culture

Google Arts & Culture (<https://artsandculture.google.com/>) – онлайн-платформа, яка надає доступ до цифрових колекцій мистецтва, культурних артефактів, віртуальних турів і 3D-об'єктів із музеїв та архівів усього світу. Частина матеріалів представлена у форматі AR.

*Дидактичний потенціал.* Платформа сприяє розвитку критичного мислення, навичок аналізу та спостережливості, забезпечує міжпредметні зв'язки (мистецтво, історія, культура, природничі науки) і підвищує емоційну залученість учнів.

*Методичні можливості.* Надає можливість проводити віртуальні екскурсії, демонструвати високоякісні зображення об'єктів, використовувати інтерактивні

інструменти (Art Selfie, Color Palette), інтегрувати культурні ресурси в навчальні теми, поєднувати 360°-відео та AR-контент.

*Практичні рекомендації:*

- використовувати платформу для інтегрованих уроків мистецтва, історії та природничих дисциплін;
- поєднувати віртуальні екскурсії з творчими завданнями та дискусіями;
- залучати учнів до аналізу мистецьких творів та культурних артефактів;
- використовувати Google Arts & Culture як ресурс для дистанційного та змішаного навчання.

### **Assemblr**

**A S S E M B L R**

Assemblr (<https://www.assemblrworld.com/>)

–

середовище для створення та використання AR/VR/3D-контенту в освіті. Платформа дозволяє працювати у вебверсії та мобільних застосунках, підтримує створення 3D-моделей, інтерактивних презентацій і AR-сцен.

*Дидактичний потенціал.* Сприяє розвитку просторового та критичного мислення, творчості, навичок командної та проєктної роботи. Допомагає у візуалізації складних процесів та підвищує мотивацію учнів.

*Методичні можливості.* Учитель може створювати 3D-моделі, AR-історії, інтерактивні демонстрації; використовувати готові матеріали (Topics, Edu Kits); організовувати групові проєкти; проводити спільні зустрічі у віртуальному середовищі Assemblr Metaverse.

*Практичні рекомендації:* 1) використовувати 3D-візуалізації та AR-контент для пояснення складних понять і явищ; 2) поєднувати платформу з іншими інструментами дистанційного або змішаного навчання; 3) залучати учнів до створення власного AR/3D-контенту для розвитку творчості та просторового мислення; 4) використовувати можливості Metaverse для організації спільних навчальних проєктів і презентацій.

### **3. Платформи та застосунки для організації імерсивного навчання математики в академічних ліцях**

Сучасний розвиток цифрових технологій зумовлює суттєве розширення інструментарію, доступного для організації навчання математики в академічних ліцях. Особливого значення набувають платформи та застосунки, що забезпечують імерсивність процесу навчання – тобто створюють умови для занурення учня у зміст навчання через інтерактивність, візуалізацію, моделювання та активну взаємодію з математичними об'єктами. Використання такого програмного забезпечення дає можливість не лише підвищити мотивацію й залученість учнів, а й розширити дидактичний потенціал вивчення математики через індивідуалізацію, дослідницьку діяльність та розвиток просторового мислення.

Імерсивні цифрові середовища для математичної освіти охоплюють широкий спектр можливостей: від динамічної геометрії та 3D-моделювання до інтерактивних симуляцій, анімацій, цифрових маніпуляторів і адаптивних навчальних платформ. Кожен тип платформ виконує власну педагогічну функцію та відповідає певним рівням інтеграції технологій у навчання, що надає можливість вибудовувати методичну систему використання імерсивних технологій на науково обґрунтованих засадах.

Подальший аналіз спрямований на систематизацію найпоширеніших платформ і застосунків, які можуть бути ефективно інтегровані в навчання математики в академічних ліцях, а також на визначення їхнього дидактичного потенціалу, можливостей використання та місця в методичній системі імерсивного навчання.

#### ***3.1. Платформи динамічної геометрії***

Платформи динамічної геометрії забезпечують інтерактивне створення, трансформацію та дослідження геометричних об'єктів та їхніх властивостей. Учні можуть безпосередньо взаємодіяти з побудовами, змінювати параметри, спостерігати за наслідками трансформацій і досліджувати залежності, що сприяє

розвитку просторового, логічного та дослідницького мислення. Ці середовища відіграють важливу роль у формуванні глибокого розуміння геометричних понять, оскільки поєднують візуальний, аналітичний і алгоритмічний компоненти.

Платформа	Опис	Дидактичний потенціал
GeoGebra 3D	Веб- та мобільна платформа для динамічної геометрії, алгебри, 3D-графіки та моделювання	Підсилює просторове мислення; надає можливість проводити дослідницькі завдання; сприяє моделюванню складних геометричних об'єктів.
Dr. Geo	Середовище динамічної геометрії з відкритим кодом та можливістю алгоритмізації	Розвиває логічне та алгоритмічне мислення; підходить для STEM-проектів; стимулює творчий підхід до побудов.
Kig	Безоплатне ПЗ для інтерактивної геометрії з підтримкою Python	Сприяє міжпредметним зв'язкам «математика – інформатика»; розвиває дослідницькі навички; дозволяє створювати макроси та складні побудови.
Sketchometry	Жестове вебсередовище для побудови та трансформації фігур на ПК і мобільних пристроях	Забезпечує швидкі інтерактивні побудови; стимулює інтуїтивне розуміння геометричних властивостей.

*Методичні можливості* платформ динамічної геометрії:

- візуалізація і перевірка властивостей геометричних фігур;
- дослідження просторових перетворень і побудова перерізів;
- виконання покрокових побудов і демонстрацій під час пояснення нового матеріалу;
- створення учнями власних моделей, алгоритмів і сценаріїв побудов;
- проведення дослідницьких завдань та STEM-проектів.

*Методична особливість.* Платформи динамічної геометрії є найбільш ефективними в темах, де важливо забезпечити рухливість моделей, можливість трансформації та перевірки гіпотез у режимі реального часу. Вони дозволяють учням самостійно виявляти закономірності, формувати уявлення про інваріантність, структуру простору та взаємозв'язки між елементами фігур.

### *Практичні рекомендації:*

- застосовувати для побудови базових і складних геометричних конструкцій;
- організовувати мінідослідження (зміна параметра → спостереження → висновок);
- використовувати 3D-режими для демонстрації перерізів, тіл обертання, точок перетину;
- поєднувати платформу з формувальним оцінюванням (моделі як відповідь);
- залучати учнів до створення алгоритмів побудов (Dr. Geo, Kig);
- розробляти групові задачі, де кожен учень відповідає за частину цифрової моделі.

### **3.2. Платформи для побудови та дослідження функцій і 3D-графіки**

Ці платформи забезпечують візуалізацію алгебраїчних, тригонометричних, параметричних, поліноміальних та багатовимірних функцій, а також створення просторових поверхонь і графічних моделей. Інтерактивна зміна параметрів і можливість обертання 3D-моделей підсилюють розуміння складних математичних залежностей, сприяють дослідницькому підходу та розвитку аналітичного мислення.

<b>Платформа</b>	<b>Опис</b>	<b>Дидактичний потенціал</b>
GeoGebra 3D	Побудова графіків, параметричних функцій, 3D-моделювання	Підтримує дослідницьку діяльність; дозволяє візуалізувати складні залежності; сприяє розвитку просторового мислення
Desmos 3D	Вебплатформа для створення 3D-графіків та анімацій через параметри	Доступна, проста у використанні; підтримує динамічну візуалізацію; стимулює дослідницький підхід
Graphing Calculator 3D	Кросплатформний графічний калькулятор для 2D/3D-графіків	Забезпечує побудову параметричних поверхонь; дозволяє створювати демонстраційні та проєктні матеріали

### *Методичні можливості платформ для роботи з функціями та 3D-графікою:*

- побудова графіків функцій однієї та багатьох змінних;
- аналіз поведінки функцій через параметричні зміни та анімації;
- відтворення просторових поверхонь, перетинів, ліній рівня;

- застосування у темах диференціального та інтегрального числення;
- підтримка проєктного навчання та розв’язування реальних задач (моделювання);
- підготовка високоякісних дидактичних і демонстраційних матеріалів.

*Методична особливість.* Платформи цього типу є оптимальними для тем, де необхідно пояснити залежність між змінними через візуалізацію, а також для уроків, що потребують роботи з об’ємними об’єктами чи абстрактними поверхнями (конуси, гіперболоїди, параболоїди, сфери, площини, тіла обертання). Особливо ефективні в академічних ліцеях під час поглибленого вивчення математики.

Практичні рекомендації:

- використовувати для демонстрації та дослідження параметричних залежностей;
- залучати учнів до моделювання реальних процесів;
- аналізувати просторові перерізи й рівняння поверхонь;
- створювати інтерактивні графічні моделі для «перевернутого класу»;
- застосовувати Graphing Calculator 3D для експортованих 3D-моделей;
- використовувати Desmos 3D для швидкої і доступної візуалізації під час уроку.

### **3.3. Мультимедійні середовища для інтерактивного та ігрового навчання**

Інтерактивні мультимедійні платформи об’єднують цифрові маніпулятиви, симуляції, адаптивні завдання та ігрові механіки, що надають учням можливість досліджувати математичні об’єкти через перетягування, складання, зміну параметрів та сюжетно-ігрові сценарії. Використання таких середовищ сприяє розвитку інтуїтивного розуміння математичних понять, підтримує формувальне оцінювання та індивідуалізацію навчання.

<b>Платформа</b>	<b>Опис</b>	<b>Дидактичний потенціал</b>
Mathigon (Polypad)	Інтерактивна платформа з математичними маніпулятивами, симуляціями та головоломками	Розвиває інтуїтивне та просторове розуміння понять; стимулює дослідницьку діяльність; підтримує диференціацію

Платформа	Опис	Дидактичний потенціал
Prodigy Math	Адаптивна математична онлайн-гра з квестами для 1–8 класів	Підвищує мотивацію та залученість; дозволяє формувати індивідуальну траєкторію навчання; підтримує формувальне оцінювання

*Методичні можливості* мультимедійних середовищ:

- створення інтерактивних моделей і віртуальних маніпулятивів;
- інтуїтивне засвоєння понять через симуляції та дослідження;
- побудова індивідуальної траєкторії навчання (адаптивні системи);
- ігрові сценарії для підвищення мотивації;
- підтримка диференціації завдань та інклюзивного навчання;
- інтерактивне конструювання моделей (Polypad: геометрія, алгебра, комбінаторика).

*Методична особливість.* Платформи оптимальні для тем, що потребують маніпулятивної та практичної діяльності, а також для формування інтуїтивного розуміння понять (дроби, ймовірність, комбінаторика, площа, об'єм). Mathigon ефективний для пояснення, дослідження та конструювання знань, тоді як Prodigy Math – для мотивації та закріплення матеріалу.

*Практичні рекомендації:*

- застосовувати Polypad під час вивчення тем з комбінаторики, дробів, площ та алгебраїчних структур;
- використовувати Prodigy Math для ігрового навчання та домашніх завдань;
- інтегрувати мультимедійні матеріали у змішане навчання;
- організовувати групові завдання з конструювання моделей;
- застосовувати платформи як засіб формувального оцінювання (кроки, пояснення);
- створювати мініпроекти на основі маніпулятивів.

### 3.4. Платформи для створення математичних анімацій і медіаматеріалів

Ці платформи надають інструменти для точного відтворення математичних анімацій, процесів, перетворень і динамічних сцен. Вони використовуються для підготовки авторських відео, інтерактивних пояснень і демонстрацій, які покращують розуміння складних тем сприяють залученню учнів до дослідницької діяльності.

Платформа	Опис	Дидактичний потенціал
Manim (Mathematical Animation Engine)	Бібліотека Python для створення 2D/3D математичних анімацій та навчальних відео.	Підвищує точність і наукову коректність анімацій; розвиває дослідницькі навички; підтримує STEM-проєкти
Mathigon (Polypad)	Інтерактивне середовище для учнів із маніпулятивами та візуалізацією, включає прості анімації.	Стимулює візуалізацію процесів; підвищує мотивацію; підтримує інтерактивне навчання

#### *Методичні можливості платформ для створення анімацій*

- створення покрокових візуалізацій складних математичних доведень;
- демонстрація руху, трансформацій, перетворень;
- розробка авторських відеоматеріалів для онлайн-курсів і «перевернутого класу»;
- інтеграція з Python для моделювання та проєктних робіт;
- візуалізація багатовимірних процесів і функцій.

*Методична особливість.* Manim є інструментом для поглибленого навчання, спеціальних курсів, факультативів і наукових/проєктних робіт. Його дидактична сила полягає у високій точності та науковій коректності анімацій, що особливо важливо в академічних ліцях.

#### *Практичні рекомендації*

- використовувати під час проведення онлайн-уроків і лабораторних занять;
- створювати короткі освітні ролики для пояснення складних тем;
- залучати учнів до створення власних анімацій у межах STEM-проєктів;

- застосовувати анімації як засіб верифікації доведень;
- інтегрувати Manim у міжпредметні проєкти (інформатика + математика).

### 3.5. Мобільні застосунки для організації навчання математики

Мобільні застосунки дозволяють організувати інтерактивну роботу учнів на уроках і поза ними, сприяють розвитку просторового мислення, критичного аналізу та дослідницьких навичок. Вони зручні для використання на смартфонах та планшетах, що робить навчання більш доступним, мобільним та персоналізованим.

#### 1. Застосунки для 3D-візуалізації функцій та графіків

Застосунок	Основні можливості	Методичне застосування
<b>Math3D</b>	Візуалізація 3D-функцій, поверхонь, кривих, векторів; інтерактивне маніпулювання	Демонстрація нового матеріалу; анімація графіків; індивідуальна та групова робота; проєктні завдання
<b>3D Functions Plotter</b>	Побудова 3D-графіків двох змінних у декартових, циліндричних, сферичних координатах; збереження та експорт графіків	Дослідження 3D-графіків; моделювання тіл обертання; підготовка спільних або індивідуальних проєктів
<b>3D Graphing Calculator</b>	Інтерактивне обертання, масштабування; побудова точок, векторів, поверхонь; розфарбовування	Візуалізація функцій багатьох змінних; STEM-проєкти; індивідуальне дослідження
<b>Function Graphs Plotter</b>	Побудова 2D-графіків лінійних, квадратичних, тригонометричних, експоненціальних функцій; масштабування, переміщення графіка	Аналіз властивостей функцій; порівняння графіків; інтерактивне моделювання; домашні завдання
<b>CalcPlot3D</b>	3D-аналітична геометрія; параметричні криві, поверхні, вектори; інтеграція з GeoGebra та Desmos	Дослідження аналітичної геометрії; створення анімацій; підготовка моделей для 3D-друку

#### 2. Застосунки для 3D-геометрії та доповненої реальності

Застосунок	Основні можливості	Методичне застосування
<b>Geometria RA</b>	Створення 3D-моделей тіл; обертання та розгортка; підказки щодо обчислення площ і об'єму; підтримка Android/iOS	Демонстрація геометричних тіл; самостійна робота; інтеграція з класними завданнями

<b>Застосунок</b>	<b>Основні можливості</b>	<b>Методичне застосування</b>
<b>RA Augmented Polyhedrons</b>	AR-візуалізація геометричних тіл за допомогою маркерів; офлайн-режим; інтерактивне обертання, масштабування	Дослідження форм; групові та індивідуальні завдання; вивчення стереометрії
<b>Sólidos RA</b>	Модулі: візуалізація, планування, створення, моделювання, геоплан; QR-коди для побудови тіл	Побудова тіл та розгорток; перетворення 2D-фігур у 3D; виконання мініпроектів
<b>Arloon Geometry</b>	Динамічні геометричні тіла; розгортки та формули; тестові завдання.	Виконання інтерактивних вправ; перевірка знань тестами; розвиток когнітивних та критичних навичок
<b>Geometria Realidad Aumentada</b>	Візуалізація 3D-моделей тіл у реальному середовищі через камеру; інтерактивність: обертання, масштабування; безоплатне використання.	Вивчення властивостей геометричних тіл; дослідження форм; інтерактивні індивідуальні та групові завдання

Методичні рекомендації щодо використання мобільних застосунків.

1. Вибір застосунку залежить від навчальної мети:

- розвиток просторового мислення;
- дослідження властивостей функцій і поверхонь;
- демонстрація та закріплення матеріалу;
- виконання проєктних завдань.

2. Робота з 3D-візуалізацією функцій та графіків:

- спостереження за змінами параметрів функцій;
- моделювання тіл обертання та поверхонь;
- створення власних графіків та збереження результатів для презентацій або

колективної роботи.

3. Робота з AR-геометрією:

- використання маркерів, QR-кодів або камери пристрою для візуалізації;
- інтерактивне обертання, масштабування та переміщення моделей;
- порівняння 2D-розгорток із 3D-моделями;
- групові та індивідуальні дослідження властивостей тіл;

– використання Geometria Realidad Aumentada для практичних завдань без необхідності фізичних моделей.

4. Інтеграція мобільних застосунків у процес навчання:

– поєднувати з традиційними методами викладання;

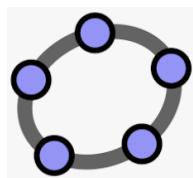
– поетапне ускладнення завдань:

спостереження → маніпуляції → моделювання → проекти;

– забезпечення рефлексії: обговорення результатів, формулювання висновків, презентація моделей.

### ***3.6. Дидактичні та методичні характеристики програм для організації навчання математики***

#### ***GeoGebra 3D***



GeoGebra 3D (<https://www.geogebra.org/3d>) – безоплатне динамічне математичне середовище, що забезпечує побудову й дослідження тривимірних геометричних об'єктів, алгебраїчних поверхонь і моделей. Ресурс доступний як у вебверсії, так і у вигляді мобільних застосунків для Android та iOS. Робота з програмою можлива без реєстрації, проте створення особистого кабінету відкриває додаткові можливості: збереження матеріалів у хмарі, синхронізацію пристроїв, співпрацю у спільних проектах та використання розширеної бібліотеки готових ресурсів.

Окремо доступний модуль GeoGebra Augmented Reality, що надає можливість накладати 3D-об'єкти на реальний простір і використовувати доповнену реальність під час вивчення просторових фігур, перерізів та моделей. Це розширює можливості візуалізації для учнів і робить навчання інтерактивнішим та дослідницьким. Попри широкий функціонал, робота застосунків може залежати від технічних характеристик пристрою.

*Дидактичний потенціал.* Підходить для візуалізації просторових фігур, побудови та аналізу графіків функцій, вивчення перерізів і об'ємів.

*Методичне застосування:* доцільно використовувати на етапах мотивації (демонстрація моделей), пояснення (поетапні побудови), практичних заняттях (учні досліджують 3D-форми самостійно) та рефлексії (аналіз результатів).

Таким чином, GeoGebra 3D є універсальним інструментом візуалізації математичних понять і формування просторового мислення.

**Dr. Geo** (<https://www.drgeo.eu>) – середовище динамічної геометрії з відкритим кодом, що поєднує геометричні побудови та алгоритмізацію. Учні можуть працювати як із класичними об'єктами, так і з алгоритмами, що описують їх побудову.

*Функціональні можливості:* створення та редагування фігур; інтерактивні трансформації; програмування для автоматизації побудов.

*Методичне застосування:* доцільний інструмент для дослідницьких та проектних завдань, розвитку алгоритмічного й логічного мислення.

**Kig** (<https://edu.kde.org/kig>) – безоплатне програмне забезпечення для вивчення геометрії з широким набором можливостей систем динамічної геометрії.

*Функціональні можливості:* інтерактивні побудови та маніпуляції; створення макросів; підтримка Python-скриптів; імпорт/експорт у різні формати; побудова складних перетворень.

*Методичне застосування:* старша школа, складні геометричні перетворення, STEM-проекти (зв'язок математики й інформатики).

**Sketchometry** (<https://sketchometry.org>) – безоплатний жестовий інструмент динамічної геометрії, що працює через зображення.

*Функціональні можливості:* побудова та трансформація через жести; інтерактивна зміна параметрів; навчальні модулі; підтримка ПК, планшетів, смартфонів, інтерактивних дошок.

*Методичне застосування:* ефективний у планіметрії та стереометрії, формувальному оцінюванні, груповій роботі, проектах.

### ***Desmos 3D***

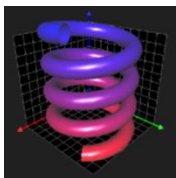


Desmos 3D (<https://www.desmos.com/3d>) – вебплатформа для побудови тривимірних графіків, розширення популярного інструменту Desmos.

*Функціональні можливості:* побудова 3D-графіків, поверхонь і параметричних рівнянь; динамічна зміна параметрів; анімація моделей і зміна точки огляду; налаштування зовнішнього вигляду об'єктів.

*Методичне застосування:* дослідження функцій багатьох змінних, візуалізація перерізів, групові роботи, проекти.

### ***Graphing Calculator 3D***



Graphing Calculator 3D (<https://www.runiter.com/graphing-calculator/>) – кросплатформна програма для побудови 2D і 3D графіків.

*Функціональні можливості:* побудова просторових поверхонь і параметричних кривих; обчислення точок перетину функцій; анімація параметрів; експорт графіків і 3D-моделей; гнучке налаштування інтерфейсу.

*Методичне застосування:* аналіз функцій, похідні, інтеграли, підготовка дидактичних матеріалів.

### ***Mathigon***



Mathigon (<https://uk.mathigon.org>) – інтерактивна платформа з модулями для вивчення тем з математики, частково доступна українською.

*Функціональні можливості:* інтерактивні модулі з основних математичних тем; Polypad – середовище з математичними маніпулятивами; симуляції, головоломки та завдання різних рівнів; адаптація матеріалу під індивідуальні потреби учнів.

*Методичне застосування:* мотивація, пояснення, закріплення, диференціація.

## ***Prodigy Math***



Prodigy Math (<https://www.prodigygame.com/>) – безоплатна математична онлайн-гра для учнів 1-8 класів.

*Функціональні можливості:* адаптивні завдання; квестово-рольова структура; інструменти для вчителя для моніторингу прогресу навчання; моніторинг батьками.

*Методичне застосування:* мотивація, індивідуальні траєкторії, дистанційні завдання.

***Manim (Mathematical Animation Engine)*** (<https://www.manim.community>) – бібліотека Python для створення математичних анімацій та точних навчальних відео.

*Функціональні можливості:* візуалізація функцій, фігур і моделей; покадрова анімація; підтримка 2D і 3D; інтеграція з NumPy, SymPy, Matplotlib.

*Методичне застосування:* демонстрації, проекти, дослідницька діяльність, створення навчальних відео.

Обмеження: потребує знань Python.

## ***Мобільні застосунки для вивчення математики та геометрії***

### ***Math3D***

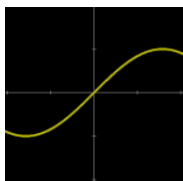


Math3D – безоплатний мобільний застосунок для візуалізації математичних об'єктів у тривимірному просторі: функцій, поверхонь, кривих, точок, ліній і векторів. Орієнтований на учнів середньої та старшої школи для розвитку просторового мислення.

*Функціональні можливості:* інтерактивна візуалізація складних математичних концепцій; маніпулювання об'єктами у 3D-просторі для кращого розуміння їхніх властивостей; створення та анімація 3D-графіків функцій, параметричних кривих, поверхонь і векторних полів; дослідження математичних моделей та багатовимірних об'єктів.

*Методичне застосування:* демонстрації, інтерактивні експерименти, проекти, розвиток просторового мислення.

## *Function Graphs Plotter*



Function Graphs Plotter – безоплатний мобільний застосунок для побудови графіків функцій у двовимірній системі координат, що дозволяє вводити алгебраїчні вирази й отримувати їх графічне відображення.

*Функціональні можливості:* побудова лінійних, квадратичних, тригонометричних, експоненціальних, логарифмічних та інших функцій; порівняння графіків різних функцій на одному полі; зміна області визначення та масштабу координатної площини; інтерактивне переміщення та масштабування графіка.

*Методичне застосування:* візуалізація абстрактних понять, дослідницькі та проєктні завдання.

Для візуалізації функцій у тривимірному форматі доцільно використовувати програму *3D Functions Plotter*.



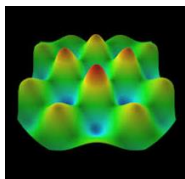
3D Functions Plotter – мобільний застосунок, розроблений для візуалізації тривимірних математичних функцій. Він є навчальним і дослідницьким інструментом, що надає можливість користувачам будувати та досліджувати 3D-графіки, робити абстрактні математичні поняття більш зрозумілими.

У застосунку є можливість будувати функції двох змінних у декартових, циліндричних та сферичних координатах, а також заданих параметрично.

*Функціональні можливості:* інтерактивне управління: можливі обертання, масштабування через сенсорне керування; наявність готових поверхонь (конус, сфера, тор тощо), що сприяє швидкому доступу до перегляду візуалізацій; можливість зберігати та експортувати зображення для подальшого спільного доступу до графіків через електронну пошту чи хмарні сервіси.

*Методичне застосування:* візуалізація 3D-функцій для кращого розуміння абстрактних математичних понять; дослідницькі та проєктні завдання.

### ***3D Graphing Calculator***



3D Graphing Calculator – мобільний застосунок для візуалізації тривимірних математичних функцій, призначений для навчального та дослідницького використання. Програма надає можливість інтерактивного спостереження за змінами графіка при зміні параметрів функцій, що робить її корисним інструментом у контексті STEM-освіти та імерсивного навчання.

*Функціональні можливості:* побудова поверхонь і параметричних кривих; інтерактивна навігація; розфарбовування; побудова точок, векторів, площин; координатна сітка; збереження та експорт зображень для подальшого спільного доступу до графіків через електронну пошту чи хмарні сервіси.

*Методичне застосування:* індивідуальна траєкторія, візуалізація функцій кількох змінних, STEM.

### ***CalcPlot3D***

CalcPlot3D – безоплатний інтерактивний застосунок для візуалізації математичних об'єктів у тривимірному просторі. Його створено для підтримки навчання аналітичної геометрії, диференціального та інтегрального числення. Застосунок дає змогу будувати графіки функцій двох змінних, поверхні, вектори, параметричні криві та площини, а також виконувати просторові обертання й масштабування моделей.

CalcPlot3D можна використовувати як у вебверсії (<https://www.dynamicmath.xyz/calcp3d/>), так і як додаток, інтегрований у середовища GeoGebra або Desmos. Інструмент підтримує створення анімацій і збереження побудов у форматі 3D-моделей, що дає змогу використовувати їх для 3D-друку. Завдяки інтуїтивному інтерфейсу та широкому набору візуалізаційних функцій CalcPlot3D ефективно сприяє розвитку просторового мислення та глибшому розумінню геометричних і аналітичних залежностей.

## **Geometria RA**



Geometria RA – мобільний застосунок для створення 3D-моделей геометричних тіл на основі AR.

*Функціональні можливості:* створення призми, піраміди, конуса, циліндра, кулі; розгортки та тіла обертання; інтерактивне дослідження; набір маркерів для візуалізації; тестова перевірка теоретичних знань.

*Методичне застосування:* компенсація відсутності фізичних моделей, підготовка до побудови тіл, групова робота, тестування.

## **RA Augmented Polyhedrons**



RA Augmented Polyhedrons – безоплатний мобільний застосунок для візуалізації геометричних тіл у доповненій реальності.

*Функціональні можливості:* моделі куба, призми, піраміди, конуса, сфери тощо; обертання, масштабування, переміщення; робота з маркерами; офлайн-режим.

*Методичне застосування:* вивчення властивостей просторових тіл, AR-візуалізація, самостійна робота.

## **Sólidos RA**

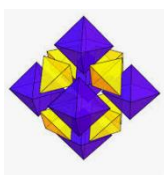


Sólidos RA – мобільний застосунок, спрямований на вивчення геометрії з елементами AR.

*Функціональні можливості:* п'ять модулів: візуалізація, планування, створення, моделювання, геоплан; QR-коди для побудови й розгорток; інтерактивний аналіз елементів; підтримка п'яти мов.

*Методичне застосування:* вивчення розгорток, комбінування тіл, властивості багатокутників і многогранників, проекти.

## **Geometria Realidad Aumentada**



Geometria Realidad Aumentada – безоплатний застосунок для візуалізації геометричних тіл у доповненій реальності.

*Функціональні можливості:* перегляд 3D-моделей через камеру; обертання та масштабування; простий та доступний інтерфейс.

*Методичне застосування:* AR-візуалізація, наочні демонстрації, самостійна робота.

### ***Arloon Geometry***



Arloon Geometry – частина освітнього середовища, що містить блоки: геометрія, анатомія, рослини, хімія, Сонячна система, ментальна математика.

*Функціональні можливості:* призма, піраміда, тіла обертання; динамічні тіла з розгортками та формулами; тестові завдання для перевірки знань.

*Методичне застосування:* розвиток когнітивних, критичних, творчих та цифрових навичок; підвищення мовних компетентностей.

#### 4. Програми для організації імерсивного навчання фізики в академічних ліцях

Імерсивні мобільні застосунки на основі технологій доповненої та віртуальної реальності сприяють урізноманітненню процесу навчання фізики та підвищують ефективність засвоєння складних концепцій. Основні переваги їх застосування у навчанні:

- підвищення мотивації учнів завдяки інтерактивності та ефекту присутності;
- безпечне моделювання експериментів, які важко або неможливо провести в класі;
- глибше розуміння складних фізичних явищ і процесів через наочні 3D/AR-моделі;
- формування дослідницьких умінь: планування експерименту, висунення гіпотез, перевірка результатів, аналіз спостережень.

*Методичні рекомендації.* Розглянуті нижче застосунки доцільно використовувати:

- під час демонстраційних і лабораторних робіт;
- для закріплення понять і візуального аналізу фізичних процесів;
- у межах індивідуальної, парної та групової роботи;
- у проєктній діяльності та дослідницьких завданнях;
- для розвитку просторової уяви та формування візуально-аналітичних умінь.

Для ефективної інтеграції цифрових засобів до уроків фізики важливо впорядкувати наявні інструменти за їхнім дидактичним потенціалом. Нижче подано класифікацію застосунків відповідно до основних розділів курсу фізики.

#### Таблиця застосунків AR/VR та симуляторів для уроків фізики (з розподілом за розділами фізики)

Розділ фізики	Застосунки	Короткий опис можливостей
Механіка	AR-in-Physics	3D-візуалізація законів Ньютона, гравітації, руху тіл.

<b>Розділ фізики</b>	<b>Застосунки</b>	<b>Короткий опис можливостей</b>
	<b>AR Physics Experiment</b>	Моделювання рухів, падіння, зіткнень; зміна параметрів середовища (тертя, маса, гравітація).
	<b>Algodoo</b>	2D-симулятор механічних явищ: сили, зіткнення, тертя, гравітація, рідини; створення механізмів.
	<b>Playground AR: Physics Sandbox</b>	Створення механічних конструкцій у AR, моделювання механізмів, коліс, важелів, доміно тощо.
	<b>phyphox</b>	Використання сенсорів смартфона (акселерометр, гіроскоп) для дослідження прискорення, коливань, рухів.
	<b>360ed Highschool Physics</b>	Базові демонстрації з механіки, інтерактивні AR-моделі.
	<b>CERN Science Gateway VR</b>	Рух частинок, траєкторії в прискорювачах (високоенергетична фізика).
Молекулярна фізика Термодинаміка	<b>AR-in-Physics</b>	Закон Бойля, газові процеси.
	<b>360ed Highschool Physics</b>	Моделі тиску, температури, газових процесів.
	<b>phyphox</b>	Дослідження температури, тиску (опосередковано через сенсори).
Електрика та електромагнетизм	<b>AR-in-Physics</b>	Електричні кола, електричні поля.
	<b>PHYWE AR</b>	Вимірювання у реальному часі з сенсорами Cobra SMARTsense; електрика, магнетизм.
	<b>Physics Lab AR</b>	Створення 3D-електричних схем; візуалізація електромагнітних полів.
	<b>Physics Lab (Android)</b>	3D-середовище для моделювання електричних схем (без AR).
	<b>AR Circuits 4D</b>	Електричні схеми на основі AR-карток: батареї, лампи, резистори, двигуни.
	<b>Electricity AR</b>	Вимірювання аналогових приладів у AR; робота за друкованими картками.
	<b>Electric Circuit AR</b>	4D-моделі компонентів електричних схем; ігрові тести.

<b>Розділ фізики</b>	<b>Застосунки</b>	<b>Короткий опис можливостей</b>
	phyphox	Використання магнітометра, вимірювання магнітних полів; електромагнітні явища.
	MARVLS AR for Physics	Візуалізація електричних і магнітних полів за допомогою Merge Cube.
Оптика та хвильові процеси	AR-in-Physics	Показник заломлення, моделі світла.
	Wave AR	Візуалізація хвильових процесів: звук, Wi-Fi, світлові поля у просторі.
	360ed Highschool Physics	AR-моделі оптичних явищ (лінзи, світло, хвилі).
	Hololab (LightUp Learning)	Моделі світлових явищ, оптики.
	phyphox	Вимірювання звукових хвиль, резонансу, освітленості.
Магнетизм	Hololab: Magnetism (AR)	AR-моделювання магнітних полів, взаємодій, ліній індукції.
	Magnet Lab AR	Дослідження магнітних взаємодій у доповненій реальності.
	MARVLS AR for Physics	Демонстрація магнітних полів (Merge Cube).
	phyphox	Дослідження магнітних полів через магнітометр телефону.
Атомна та ядерна фізика сучасна фізика	AR-in-Physics	Моделі атомів.
	CERN Science Gateway VR	Лабораторії CERN, колайдери, моделі частинок.
Мультидисциплінарні універсальні застосунки	AR 3D Science	Біологія, хімія, фізика (базові 3D-моделі).
	NSS Mobile Physics	Мультимедійні матеріали з різних тем фізики.
	AR Physics Classes	Освітні матеріали з фізики (AR-функції описані поверхово).
	Halo AR – 3D Experience Maker	Створення власного AR-контенту (можна використовувати для фізичних моделей).
	PHYWE Augmented Reality	Розширення традиційних експериментів для різних розділів курсу.

Подані в таблиці рекомендації допомагають учителю цілеспрямовано й методично виважено інтегрувати AR/VR-ресурси у процес навчання. Їх використання забезпечує педагогічну керованість імерсивного досвіду, запобігає надмірному технічному навантаженню на уроці та сприяє перетворенню емоційного занурення у справжнє навчальне розуміння. Запропоновані нижче поради дають змогу вчителю наперед продумувати структуру уроку, визначати межі й доцільність використання цифрових елементів, а також підтримувати баланс між технологічним компонентом та змістовим наповненням.

#### Методичні коментарі:

1. Цілеспрямоване використання AR/VR	Перед добором AR-матеріалу сформулюйте одне ключове навчальне завдання, яке має бути підсилене завдяки імерсивному інструменту.
2. Правило однієї ідеї	Обирайте один фізичний закон або явище для демонстрації. Надмірна деталізація може відволікати учнів.
3. Тиха пауза після занурення	Після роботи з AR організуйте коротку паузу для осмислення спостережень, обговорення результатів у парах або групах.
4. Інструкція у трьох кроках	Кожен експеримент або інтерактивну сесію починайте з чіткої інструкції: що робимо, навіщо і який результат очікуємо.
5. Педагогічний редуктор	Використовуйте один якісний 3D-об'єкт або AR-модель замість складних схем. Це допомагає спростити складні теми.
6. Емоційний термометр	Попросіть учнів оцінити свій стан після заняття (цікавість, складність, комфортність) за обраною шкалою – це дає зворотний зв'язок для оптимізації подальших уроків.
7. Мінізвіт учня	Заохочуйте учнів коротко підсумовувати імерсивний досвід за трьома запитаннями:

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Що я щойно побачив?</li> <li>– Що зрозумів?</li> <li>– Що можу пояснити іншому?</li> </ul>
8. Ротація ролей	Учні можуть бути «технічними асистентами», допомагаючи з QR-кодами, AR-картками та застосунками. Це знижує навантаження на вчителя та сприяє командній роботі.
9. Карта ризиків	Перед уроком варто оцінити три можливі ризики: технічний, організаційний, дидактичний.

Розглянемо нижче перелік мобільних застосунків та середовищ, що можуть бути використані у процесі імерсивного навчання. Перевагами їх застосування у процесі навчання є:

- 1) підвищення мотивації учнів через інтерактивність і AR;
- 2) можливість безпечно моделювати експерименти, які важко або неможливо провести у класі;
- 3) їх використання сприяє глибшому розумінню складних фізичних явищ і процесів;
- 4) сприяння формуванню навичок дослідницької діяльності: планування експерименту, висунення гіпотез, перевірка результатів.

*Методичні рекомендації.* Розглянуті нижче застосунки доцільно використовувати:

- для демонстраційних та лабораторних експериментів на уроках фізики;
- для закріплення понять – інтерактивне дослідження фізичних явищ у 3D та через сенсорні дані;
- для індивідуальної та групової роботи, виконання лабораторних та проєктних завдань;
- для розвитку просторового мислення та формування візуального візуального розуміння абстрактних фізичних концепцій.

Зважаючи на різноманітність доступних інструментів, важливо систематизувати застосунки відповідно до їх дидактичного потенціалу й можливостей у межах шкільного курсу фізики.

### ***AR-in-Physics***



AR-in-Physics – безоплатний мобільний застосунок для Android та iOS, розроблений Гонконзьким політехнічним університетом. Призначений для учнів старшої школи та студентів для інтерактивного дослідження фізики.

*Функціональні можливості:* моделювання фізичних явищ (оптика, електрика, механіка, атомні моделі), зміна параметрів у режимі реального часу, підтримка самостійного дослідження через AR без необхідності складного обладнання.

*Методичне застосування:* демонстрації абстрактних концепцій (наприклад, електромагнітне поле, заломлення світла), інтерактивні практикуми та проекти, де учні самостійно досліджують вплив параметрів.

### ***AR Physics Experiment***



AR Physics Experiment – безоплатний мобільний застосунок для Android, що поєднує елементи гри та навчальної симуляції. За допомогою технології доповненої реальності та фізичного рушія JBullet користувачі можуть експериментувати з різними параметрами та фізичними сценаріями, змінюючи умови середовища та спостерігаючи за наслідками. Доцільно використовувати для організації навчання з елементами ігрової діяльності.

*Функціональні можливості:* моделювання падіння, ударів, зміни середовища (тертя, густина, тяжіння); інтерактивні сцени, де можна перевіряти фізичні закони.

*Методичне застосування:* дослідження законів механіки (рух тіл, падіння, зіткнення, вплив сили тяжіння та опору), моделювання середовищ із різною гравітацією, формування дослідницьких навичок (висунення гіпотез, зміна параметрів, аналіз наслідків).

**Algodoo** (<https://www.algodoo.com/>) – інтерактивне середовище для моделювання фізичних процесів у 2D. Воно дає змогу учням створювати власні «сцени» фізичних експериментів, змінювати параметри (силу, гравітацію, тертя тощо) і спостерігати результати в реальному часі.

*Функціональні можливості:* побудова геометричних об'єктів, моделювання динаміки (сили, зіткнення, тертя), механізмів, а також візуалізація траєкторій через графіки, спільні сцени, бібліотека користувачьких сцен (AlgoBox) для обміну моделями.

*Методичне застосування:* проєктні задачі, лабораторні досліди, побудова механізмів, вивчення сили й руху через взаємодію структур.

### **Playground AR: Physics Sandbox**



Безоплатний мобільний застосунок для iOS, який використовує технологію доповненої реальності для створення інтерактивних фізичних моделей у реальному середовищі. Призначений для учнів середньої та старшої школи для дослідження механічних явищ та принципів фізики.

*Функціональні можливості:* конструювання механізмів; робота з блоками, колесами, джетами, з'єднаннями; технологія AR для моделювання у фізичному оточенні; збереження сцен та перегляд з різних ракурсів.

*Методичне застосування:* творчі лабораторії, ігрові експерименти, проєкти на тему просторової динаміки.

### **phyphox**



phyphox (Physical Phone Experiments – <https://phyphox.org/>) – мобільний застосунок, який перетворює смартфон або планшет на науковий вимірювальний прилад, використовуючи вбудовані сенсори пристрою.

*Функціональні можливості:* акселерометр, гіроскоп, магнітометр, мікрофон, GPS – усе це може використовуватися для вимірювання прискорення, обертання, магнітних полів, звуку тощо.

*Методичне застосування:* експерименти на місці: вимірювання коливань, прискорення, магнітних полів; класні або польові дослідження; інтеграція даних сенсорів у проекти.

### **360ed Highschool Physics**



360ed Highschool Physics (<https://360ed.org/>) – освітній мобільний застосунок для вивчення базових тем фізики у старшій школі, що інтегрує технології доповненої реальності та 3D-моделювання. Базовий функціонал доступний безоплатно, однак для повноцінного використання AR-можливостей необхідне придбання спеціальних флешкарт, які виконують функцію тригерів для активації моделей.

*Функціональні можливості:* AR-моделі для тем з механіки, оптики, електрики; симуляції, відеоуроки з анімованими поясненнями, тести; поєднання мобільного застосунку зі спеціальними флешкартами.

*Методичне застосування:* уроки з імерсивною візуалізацією, самостійне навчання, тренування в розв'язуванні задач і тестів.

**CERN Science Gateway VR** (<https://visit.cern/>) – безоплатна VR-платформа, створена Європейською організацією з ядерних досліджень (CERN) для популяризації фізики високих енергій. Надає користувачам можливість здійснити віртуальні подорожі науковими лабораторіями та прискорювачами частинок, зокрема Великим адронним колайдером.

*Функціональні можливості:* перегляд 360° відеоекскурсій і VR-моделей експериментів CERN; можливість використання VR-гарнітури або звичайного смартфона (режим Cardboard); коментарі науковців та пояснення процесів, що відбуваються в установках; онлайн-доступ без потреби завантаження додаткового ПЗ.

*Методичне застосування:* демонстрації фізики високих енергій, екскурсії, проекти «Майбутній науковець», ознайомлення з роботою наукових лабораторій.

## ***Physics Lab AR***



Physics Lab AR – iOS-застосунок для створення 3D-електричних схем у AR.

*Функціональні можливості:* понад 100 компонентів (резистори, джерела живлення, лампи тощо), створення схем, візуалізація електромагнітних полів.

*Методичне застосування:* дослідження електричних кіл, демонстрації, лабораторні практикуми без фізичних приладів, формування поняття електричного поля.

Дуже схожим, але з трохи іншим потенціалом на платформі Android є ***Physics Lab*** від Civitas Quantum Physics. На відміну від першого застосунку, який має функцію AR для візуалізації фізичних процесів, цей застосунок працює в середовищі 3D.

## ***AR Circuits 4D***



AR Circuits 4D (Physics) – AR-застосунок для побудови електричних схем за допомогою друкованих карток.

*Функціональні можливості:* компоненти (батареї, провідники, лампи), сканування карток, відображення роботи електричних кіл у доповненій реальності.

*Методичне застосування:* вивчення струму, напруги, опору; лабораторні та проєктні завдання; підтримка STEM-ініціатив.

## ***Electricity AR***



Electricity AR – безоплатний Android-застосунок, що надає можливість моделювати аналогові прилади в AR за допомогою друкованих карток.

*Функціональні можливості:* сканування маркерів, віртуальні показники, моделювання електричних приладів.

*Методичне застосування:* практична електрика, навчальні експерименти, демонстрації принципів вимірювання напруги та струму.

## ***Electric Circuit AR***



Застосунок Electric Circuit AR доступний для завантаження на Android та iOS, є безоплатним і допомагає учням вивчати електронні компоненти та електричні схеми за допомогою доповненої реальності. Ідея розробки застосунку полягала у створенні простого, веселого та ефективного навчального досвіду.

*Функціональні можливості:* інтерактивні моделі, вікторини, навчальний режим, аудіопояснення, офлайн-режим; підручник у застосунку.

*Методичне застосування:* поглиблене вивчення компонентів, інтерактивні тести, моделювання віртуальних схем

## ***MARVLS AR for Physics***



MARVLS AR for Physics – безоплатний мобільний застосунок, доступний для платформ Android та iOS, що надає користувачам можливість вивчати фізичні концепції через інтерактивні 3D-моделі в доповненій реальності. Для повноцінного використання додатка необхідно мати фізичний об'єкт Merge Cube.

*Функціональні можливості:* 3D-моделі електричних і магнітних полів; схема кіл, оптичні явища; інтуїтивна навігація в AR; візуалізація складних концепцій.

*Методичне застосування:* вивчення полів, демонстрації, лабораторні завдання, проекти з віртуальними моделями

## ***Wave AR***



Wave AR (<https://apps.apple.com/gb/app/wave-ar/id6743468373>) – безоплатний мобільний застосунок для iOS, який візуалізує хвильові явища (звук, Wi-Fi, світло) у доповненій реальності.

*Функціональні можливості:* 3D-оболонки хвиль, теплові карти, інтерактивна візуалізація просторових даних; візуалізація просторових даних у реальному часі; оцінка якості середовища в міських просторах; планування та оптимізація простору для покращення комфорту;

*Методичне застосування:* дослідження хвильової природи фізичних систем, вивчення розповсюдження електромагнітних хвиль у середовищі.

**HoloLab AR** – набір AR-застосунків від HoloLab, зокрема для моделювання магнітних полів (Magnetism), а також інших фізичних явищ через LightUp Learning. Застосунки поєднують ігрову взаємодію та моделювання фізичних процесів, що робить навчання інтерактивним і дослідницьким.

*Функціональні можливості:* 3D-моделі магнітних полів, візуалізація взаємодій, розгортка ліній індукції.

*Методичне застосування:* вивчення магнетизму, демонстрація полів, командні дослідження, гейміфікація навчання.



HoloLab:  
Magnetism (AR)



Magnet Lab AR



LightUp Learning



Halo AR – 3D  
Experience Maker

### **AR 3D Science**



AR 3D Science – безоплатний мобільний застосунок для Android, який пропонує 3D-моделі з біології, хімії, фізики.

*Функціональні можливості:* обертання, масштабування моделей, інформаційні підписи, інтерактивна взаємодія.

*Методичне застосування:* мультидисциплінарні проекти, ілюстрації для уроків, візуалізація фізичних структур.

### **NSS Mobile Physics**



NSS Mobile Physics – це безоплатний мобільний застосунок, Oxford University Press (Китай), що містить мультимедійні навчальні матеріали.

*Функціональні можливості:* відеоуроки, інтерактивні вправи, мультимедіа, пояснення до підручника NSS Physics.

*Методичне застосування:* самостійне вивчення, використання як додатковий ресурс до підручника, повторення тем, контроль засвоєння.

## ***AR Physics Classes***



AR Physics Classes – безоплатний мобільний застосунок для Android, який пропонує освітню платформу з елементами доповненої реальності для учнів і вчителів – розробників відповідних навчальних матеріалів. Попри зазначення «AR», конкретні AR-функції, освітні навчальні матеріали і масштаби застосування в деталях не розкриті.

## ***PHYWE Augmented Reality***



PHYWE Augmented Reality – безоплатний мобільний застосунок для Android та iOS, який інтегрує реальні сенсори (SMARTsense) з AR.

*Функціональні можливості:* сканування QR-кодів, віртуальні моделі, живі вимірювання, поєднання фізичних і віртуальних експериментів, інтерактивне моделювання та дослідження фізичних процесів.

*Методичне застосування:* лабораторні досліди, демонстрації, гібридні експерименти, підтримка STEM-уроків через інтерактивні AR-сценарії.

## **5. Програми та застосунки для організації імерсивного навчання хімії в академічних ліцях**

Імерсивні технології відкривають принципово нові можливості для викладання хімії – предмета, у якому значна частина змісту є абстрактною або недоступною для безпосереднього спостереження. Імерсивні середовища надають можливість візуалізувати молекули в об'ємному просторі, моделювати електронні орбіталі, відтворювати механізми реакцій та демонструвати динамічні зміни на мікрорівні. Така персоналізована та наочна взаємодія сприяє глибшому розумінню хімічних процесів, формуванню просторового мислення та підвищенню навчальної мотивації.

До ключових переваг застосування імерсивних технологій у навчанні хімії належать:

- безпечне відтворення небезпечних або недоступних експериментів;
- наочна демонстрація структури, геометрії молекул та орієнтації зв'язків;
- моделювання реакцій на мікрорівні (зіткнення частинок, електронні переходи);
- можливість інтерактивної дослідницької діяльності, наближеної до наукових практик;
- підтримка міжпредметних STEAM-зв'язків (біохімія, молекулярна біологія, фізика, екологія).

Доцільність застосування імерсивних ресурсів:

- демонстрація просторової будови молекул, кристалічних ґраток і біомолекул;
- вивчення типів хімічних зв'язків, гібридизації та електронних орбіталей;
- доповнення або заміна лабораторних робіт;
- організація мінідосліджень та проектних робіт з аналізу молекулярних структур і реакцій;
- візуалізація складних біохімічних, екологічних та міждисциплінарних процесів.

Методичні принципи планування уроку з AR/VR-технологіями:

– доцільності – застосовувати технології, коли вони справді підсилюють розуміння;

– когнітивної економії – моделі не повинні перевантажувати учнів деталями;

– інтегративності – імерсивний досвід є частиною навчального процесу (вступ → діяльність → аналіз → висновки);

– безпечності – організація простору та контроль під час використання імерсивних технологій;

– фіксації результатів – після взаємодії з імерсивними технологіями важливо підсумувати та зафіксувати знання (мінізвіт, відповіді на ключові запитання, графічний конспект).

Для зручності використання цифрових інструментів їх доцільно систематизувати за функціональністю та дидактичним призначенням. У шкільному курсі хімії програми можна класифікувати на:

– інструменти для моделювання молекул та їхньої просторової геометрії;

– імерсивні та AR-інструменти для навчання хімії;

– AR-застосунки для вивчення періодичної системи елементів;

– віртуальні хімічні лабораторії та симуляції.

### ***5.1. Інструменти для моделювання молекул та їхньої просторової геометрії***

Інструменти 3D-моделювання допомагають учням зрозуміти просторове розміщення атомів у молекулі, типи зв'язку, гібридизацію, кути між зв'язками та симетрію. Використання подібних застосунків сприяє формуванню просторово-образного мислення, що є складним для багатьох учнів, особливо на етапі вивчення органічної хімії та молекулярних моделей.

<b>Застосунок</b>	<b>Дидактичний потенціал</b>	<b>Теми, де доцільно застосовувати</b>
<b>MolView (веб)</b>	– швидке створення 3D-моделі молекули; – визначення геометрії;	<b>8 клас:</b> Будова речовини, молекули, атоми. <b>9 клас:</b> Теорія будови речовини, валентність, хімічний зв'язок.

Застосунок	Дидактичний потенціал	Теми, де доцільно застосовувати
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– перегляд довжин і кутів зв'язків;</li> <li>– імпорт моделей із PDB/CSD;</li> <li>– можливість порівняння різних геометрій.</li> </ul>	<p><b>10 клас:</b> VSEPR-теорія, типи гібридизації, полярність молекул.</p> <p><b>11 клас:</b> Органічні молекули: алкани, алкени, спирти, кислоти (демонстрація будови).</p>
<b>Avogadro (ПК)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– точна побудова молекул з енергетичною мінімізацією;</li> <li>– перегляд конформацій, обертання навколо зв'язків;</li> <li>– детальні вимірювання;</li> <li>– побудова й аналіз складних органічних структур;</li> <li>– формування навичок молекулярного моделювання.</li> </ul>	<p><b>10 клас:</b> Геометрія молекул, гібридизація, просторові форми.</p> <p><b>11 клас:</b> Стереохімія, ізомери, конформаційні переходи, органічні реакції (механізми на моделях).</p> <p><b>Профільний рівень:</b> Побудова моделей біомолекул, аналіз енергетики.</p>
<b>ChemDoodle 3D (ПК)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– побудова якісних 3D-моделей;</li> <li>– перехід між 2D- та 3D-представленнями;</li> <li>– інструмент для пояснення хімічних формул у просторі;</li> <li>– створення навчальних ілюстрацій та схем до презентацій.</li> </ul>	<p><b>8-9 класи:</b> Формули речовин, перехід у моделі.</p> <p><b>10 клас:</b> Молекулярна геометрія, гібридизація.</p> <p><b>11 клас:</b> Органічна хімія – ізомерія, оптичні ізомери, будова складних молекул.</p>
<b>Jmol (ПК + веб)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– перегляд моделей у браузері без встановлення програми;</li> <li>– робота зі структурами з PDB;</li> <li>– дослідження електронної густини, орбіталей;</li> <li>– демонстрація білків, ферментів, великих молекул.</li> </ul>	<p><b>9 клас:</b> Електронна будова атомів, орбіталі.</p> <p><b>10 клас:</b> Типи хімічного зв'язку, полярність, електронні хмари.</p> <p><b>11 клас:</b> Біомолекули, білки, ДНК, ферменти – міжпредметна інтеграція (хімія + біологія).</p>
<b>ChemSketch (ПК)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– зручний перехід між 2D- та 3D-моделями;</li> <li>– побудова структурних формул і їх конвертація в молекулу;</li> <li>– пояснення правильного запису органічних структур;</li> <li>– створення інтерактивних структур для лабораторних робіт.</li> </ul>	<p><b>9 клас:</b> Хімічні формули, моделі.</p> <p><b>10-11 класи:</b> Органічна хімія: будова вуглеводнів, спиртів, кислот, естерів, ароматичних сполук; структурні формули.</p> <p><b>Проектна діяльність:</b> створення власних структур для проектів.</p>
<b>VMD (ПК)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– професійна візуалізація макромолекул;</li> <li>– завантаження файлів PDB/XYZ;</li> <li>– робота з білками, ферментами, нуклеїновими кислотами;</li> </ul>	<p><b>11 клас (профіль):</b> Біохімія, амінокислотні ланцюги, структура білків.</p> <p><b>STEAM-проекти:</b> Молекулярна біологія, медична хімія,</p>

Застосунок	Дидактичний потенціал	Теми, де доцільно застосовувати
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– демонстрація взаємодій у великих молекулах;</li> <li>– використання у профільній хімії, біохімії та STEAM.</li> </ul>	ферментативні реакції. <b>Факультативи:</b> моделювання органічних та біоорганічних молекул.

*MolView* (<https://molview.org>) – вебзастосунок для побудови структурних формул та автоматичної генерації 3D-моделей. Працює у браузері, не потребує встановлення.

*Функціональні можливості:* створення 2D-структур із подальшим автоматичним переходом до 3D-моделі; інтеграція з базами PubChem та RCSB PDB для завантаження реальних молекул, полімерів і білків; візуалізація у стилях «кулі й стрижні», «поверхня», «лінії»; поворот, масштабування, вимірювання міжатомних відстаней і кутів; підтримка кристалічних структур та біомолекул; експорт моделей у поширені формати.

Переваги: інтуїтивний інтерфейс, велика база готових моделей, доступність онлайн.

Обмеження: менш потужний порівняно з Avogadro та VMD.

*Методичне застосування:* демонстрація просторової структури молекул, візуалізація кристалічних ґраток та білків, інтерактивні вправи на уроці хімії.

*Avogadro* (<https://avogadro.cc>) – потужний молекулярний редактор з відкритим кодом, орієнтований на створення й редагування 3D-моделей молекул та виконання базового молекулярного моделювання.

*Функціональні можливості:* побудова та редагування структур будь-якої складності; різні стилі 3D-візуалізації; енергетична мінімізація (пошук найстабільнішої конформації); моделювання реакцій та взаємодій; підтримка квантово-хімічних розрахунків через зовнішні пакети (Gaussian, GAMESS, ORCA); точні вимірювання довжин, кутів, дієдральних кутів; експорт у численні формати (VMD, Jmol, MolView).

Переваги: найпотужніший серед безоплатних настільних редакторів.

Обмеження: складний інтерфейс для новачків; потребує встановлення.

*Методичне застосування:* моделювання молекулярних конформацій, лабораторні досліди, демонстрації реакцій.

**ChemDoodle 3D** (<https://www.chemdoodle.com/3d>) – професійне програмне забезпечення для 3D-візуалізації та моделювання молекул; доповнення до редактора ChemDoodle 2D.

*Функціональні можливості:* якісна 3D-візуалізація молекул, білків і кристалічних ґраток; підтримка численних хімічних форматів (PDB, CML, MOL, XYZ); анімація обертання та трансформацій; експорт сцен для презентацій; інтеграція з ChemDoodle 2D.

Переваги: професійна графіка, придатність для навчальних і наукових матеріалів.

Обмеження: платний продукт; потребує освоєння інтерфейсу.

*Методичне застосування:* створення навчальних презентацій, демонстрація кристалічних ґраток, візуалізація 3D-структур.

**VMD (Visual Molecular Dynamics** – <https://www.ks.uiuc.edu/Research/vmd/>) – професійне середовище для візуалізації, анімації та аналізу великих біомолекулярних систем.

*Функціональні можливості:* 3D-візуалізація молекул і макромолекул, перегляд траєкторій MD-симуляцій, побудова поверхонь і ізоповерхонь, підтримка багатьох форматів, скриптове керування Tcl/Python.

Переваги: професійний аналіз, автоматизація, підтримка великих систем.

Обмеження: складний інтерфейс; потребує готових структур.

*Методичне застосування:* демонстрації молекулярної динаміки, дослідження макромолекул, лабораторні та проєктні завдання для учнів.

**Jmol** (<https://jmol.sourceforge.net/>) – відкрите програмне забезпечення для 3D-візуалізації молекул у настільній та вебверсіях.

*Функціональні можливості:* перегляд 3D-молекул і полімерів; підходить для школи та університету; завантаження моделей із Protein Data Bank, вимірювання відстаней і кутів, відображення спектрів, електронної густини, зміна стилю візуалізації.

Переваги: легкий у використанні, працює у браузері.

Обмеження: базова функціональність порівняно з VMD або Avogadro.

*Методичне застосування:* швидкі демонстрації молекул, інтерактивні вправи, пояснення 3D-структур.

**ChemSketch** (<https://www.acdlabs.com/resources/free-chemistry-software-apps/chemsketch-freeware/>) – безоплатне програмне забезпечення для створення та візуалізації хімічних структур і розрахунку властивостей. Програма орієнтована на учнів із високим рівнем знань із хімії та надає їм можливість будувати молекули у 2D та 3D, досліджувати їхні властивості, створювати хімічні схеми та розраховувати деякі параметри. ChemSketch використовується у навчанні для пояснення просторової будови молекул, механізмів реакцій та для формування базових навичок хімічного моделювання.

*Функціональні можливості:* 2D/3D-конструювання молекул, автоматична генерація IUPAC-назв, розрахунок маси та складу, лабораторні схеми, імпорт/експорт MOL/CML, бібліотека фрагментів; перегляд молекул у 3D.

Переваги: безоплатний, зручний для навчання, інтеграція з 3D.

Обмеження: обмежені можливості для складного моделювання.

*Методичне застосування:* лабораторні завдання, пояснення просторової будови, моделювання реакцій.

## 5.2. Імерсивні та AR-інструменти для навчання хімії

До цієї категорії входять комплексні застосунки AR/VR, які містять тематичні моделі, симулятори та інтерактивні мінісцени. Вони забезпечують ефект присутності, надають можливість візуалізувати абстрактні процеси (розрив і утворення зв'язків, механізми реакцій, рух електронів), що значно полегшує розуміння.

Застосунок	Дидактичний потенціал	Методичні рекомендації для вчителя	Теми курсу хімії
<b>ModMol</b>	Візуалізація 3D-моделей молекул у просторі; інтерактивне	Використовувати для вивчення просторової будови молекул, демонстрації ізомерії;	Органічна хімія: вуглеводні, функціональні групи;

Застосунок	Дидактичний потенціал	Методичні рекомендації для вчителя	Теми курсу хімії
	маніпулювання структурами	інтерактивна групова робота або індивідуальні дослідження	неорганічна хімія: оксиди, солі
<b>Molecular Constructor</b>	3D-моделювання молекул з автоматичною оптимізацією геометрії; спрощення складних понять	Для побудови молекул на уроці з можливістю демонстрації оптимальних форм та симетрії; застосування AR для візуалізації стереохімії	Сtereoхімія, гібридизація, геометрія молекул
<b>Chemistry AR+</b>	Візуалізація атомів та молекул у доповненій реальності; моделювання електронних орбіталей	Використовувати для пояснення будови атома, молекулярних орбіталей, формування просторового мислення; демонстрації періодичних тенденцій	Будова атома, електронні орбіталі, періодична система
<b>ModelAR Organic Chemistry</b>	3D-моделювання органічних молекул, доповнена реальність, інтерактивна робота зі структурами	Демонстрація конформацій та ізомерів органічних сполук; ігрове моделювання молекул, групові дослідження	Органічна хімія: ізомери, функціональні групи, просторове розташування атомів
<b>QuimiAR</b>	AR-візуалізація молекул і реакцій; інтерактивна робота з молекулами	Використовувати для вивчення атомних зв'язків, молекулярних формул та реакцій; індивідуальні та групові завдання	Молекулярні структури, типи зв'язків, просторове розташування атомів
<b>MARVLS AR Chemistry</b>	Демонстрація симетрії, резонансних структур; анімації реакцій; інтерактивність	Для пояснення резонансних структур, симетрії молекул, реакцій електронів; використання у поєднанні з 2D-моделюванням	Органічна та неорганічна хімія: резонанс, симетрія молекул, реакційні механізми
<b>AR VR Molecules Editor Free</b>	3D-моделювання у VR; доповнена реальність; різні стилі відображення	Використовувати для візуалізації молекул, побудови реакцій та просторового розташування	Молекули, кристалічні ґратки,

Застосунок	Дидактичний потенціал	Методичні рекомендації для вчителя	Теми курсу хімії
		атомів; ігровий підхід для залучення учнів	просторові моделі
<b>MoleculARweb</b>	Веб-AR; створення та перегляд AR-моделей без застосунків; інтерактивність	Для дистанційного та очного навчання; демонстрації молекул, орбіталей, водневих зв'язків; інтерактивні досліди	Будова атома, молекулярні орбіталі, водневі зв'язки, просторові структури біомолекул
<b>Molecular WebXR</b>	Коллективний VR/AR-досвід; спільне дослідження молекул	Групові проєкти; вивчення складних молекул у спільному середовищі	Біохімія, білки, ДНК
<b>chemAR</b>	AR-візуалізація атомів, молекул, орбіталей; AI-пояснення	Демонстрації будови атома та молекул; індивідуальні дослідження	Атомна структура, орбіталі, молекулярна геометрія
<b>Chemistry VR (Futuclass)</b>	VR-лабораторія; моделювання реакцій	Демонстрації небезпечних реакцій; інтерактивні лабораторні роботи	Реакції, термохімія, окисно-відновні реакції
<b>Vic's Science Studio – VR Chemistry Lab</b>	VR-лабораторія з вільними експериментами	Формування навичок гіпотези/експерименту; лабораторні та демонстраційні уроки	Реакції, механізми, органічна та неорганічна хімія

### *ModMol*



ModMol – безоплатний мобільний застосунок, розроблений Інститутом теоретичної та обчислювальної хімії Університету Барселони (IQTCUB), який надає можливість демонструвати 3D-візуалізацію органічних та неорганічних молекул у середовищі доповненої реальності.

*Функціональні можливості:* візуалізація молекул у 3D та AR; редагування молекул за допомогою елементів періодичної таблиці; використання стандартних

фрагментів для побудови молекул; підтримка створення молекул або редагування вже створених; інтерактивне маніпулювання молекулярними структурами за допомогою сенсорного екрана.

*Тип діяльності учнів:* побудова молекул, дослідження їхньої геометрії, візуальний аналіз зв'язків у AR-середовищі.

### ***Molecular Constructor***



Molecular Constructor (<https://molconstr.com/>) – безоплатний 3D-редактор для створення та візуалізації молекул, доступний для платформ Android та iOS. Використання програми надає користувачам можливість проєктувати молекули та одночасно оптимізувати їхню геометрію.

*Функціональні можливості:* повноцінне 3D-моделювання: додавання атомів, створення зв'язків; оптимізація геометрії (автоматичне знаходження стабільної конформації); інтуїтивні інструменти для маніпуляції моделлю; вбудована періодична таблиця; підказки щодо властивостей побудованих молекул.

*Тип діяльності учнів:* проєктування моделей, аналіз енергетично стабільних структур, дослідження зв'язків і просторової організації молекул.

### ***Chemistry AR+***



Chemistry AR+ – мобільний застосунок для візуалізації та вивчення хімічних концепцій в інтерактивній формі. Завдяки AR, застосунок надає можливість учням та вчителям «розміщувати» молекули та атоми в реальному просторі.

*Функціональні можливості:* 3D-візуалізація атомів і молекул у реальному просторі; демонстрація молекулярної геометрії, включно з моделями VSEPR; дослідження періодичних тенденцій у вигляді AR-моделей; відображення атомних орбіталей (s, p, d).

*Тип діяльності учнів:* побудова моделей атомів і молекул в AR, дослідження електронних хмар, аналіз геометрії сполук.

### ***ModelAR Organic Chemistry***



ModelAR Organic Chemistry – мобільний AR-редактор органічних молекул, призначений для моделювання та дослідження стереохімії.

*Функціональні можливості:* побудова 3D-структур органічних молекул; AR-візуалізація моделей у реальному середовищі; можливість обертання, масштабування, зміни конформацій; дослідження видів зв'язків і стереоізомерії; інтерактивний інструментарій для аналізу просторової будови.

*Тип діяльності учнів:* вивчення стереохімії, аналіз конформацій, робота з органічними структурами у форматі AR – потужний інструмент 3D-моделювання, створений компанією Alchemie.

### ***QuimiAR***



QuimiAR – мобільний застосунок доповненої реальності, розроблений для вивчення хімії, зокрема молекулярної структури та атомних зв'язків. Він надає можливість користувачам переглядати 3D-моделі молекул у реальному просторі через камеру мобільного пристрою.

*Функціональні можливості:* відображення 3D-молекул в AR; навчальні модулі з атомної та молекулярної будови; дві групи моделей: іонні та ковалентні сполуки; базова інтерактивність (обертання, масштабування).

*Тип діяльності учнів:* аналіз типів хімічних зв'язків, розпізнавання структур іонних та ковалентних сполук.

### ***MARVLS AR Chemistry***



MARVLS AR Chemistry – AR-застосунок, що дає змогу переглядати 3D-моделі молекул, групи симетрії, резонансні структури та анімації органічних реакцій із



візуалізацією руху електронів за допомогою Merge Cube.

*Функціональні можливості:* перегляд 3D-молекул, симетрійних елементів, резонансних структур; AR-анімації механізмів реакцій (рух електронів); інтеграція з настільними редакторами (Avogadro, MolView, ChemSketch); зручний формат для демонстрацій і практикумів.

*Тип діяльності учнів:* спостереження за механізмами реакцій, аналіз симетрії молекул, дослідження просторових структур.

### **AR VR Molecules Editor Free (Virtual Space LLC)**



AR VR Molecules Editor Free (Virtual Space LLC) – безоплатний мобільний застосунок для Android (та платна версія для iOS), що надає можливість будувати й візуалізувати молекули у форматах доповненої та віртуальної реальності. Призначений для учнів старших класів, які навчаються за профілем хімії, він допомагає краще уявити структуру органічних і неорганічних сполук.

*Функціональні можливості:* побудова моделей із широкого набору елементів; підтримка одинарних, подвійних, потрійних та циклічних зв'язків; експорт та імпорт моделей; AR-візуалізація молекул у фізичному просторі.

*Тип діяльності учнів:* створення власних молекул, аналіз зв'язків, дослідження геометрії в AR/VR.

**MoleculARweb** (<https://moleculARweb.epfl.ch/>) – освітня вебплатформа з технологією доповненої реальності для навчання хімії та біології: інтерактивне вивчення будови та взаємодії молекул.

*Функціональні можливості:* навчальні AR/VR-майданчики з тем: орбіталі, форми молекул, водневі зв'язки, кислоти/основи; створення власних AR-моделей; режим Markerless AR для візуалізації без маркерів; лабораторні симуляції молекулярних взаємодій; доступні PDF-маркери для роботи офлайн.

*Тип діяльності учнів:* дослідження моделей, робота з орбіталями, аналіз форм молекул, виконання AR-лабораторних вправ.

**Molecular WebXR** (<https://molecularwebxr.org/>) – це розширений модуль у межах екосистеми MoleculARweb, який використовує технологію WebXR (вебверсія віртуальної та доповненої реальності) для проведення спільних інтерактивних сесій з молекулярної візуалізації. Програма розроблена для того, щоб надати користувачам можливість спільно досліджувати, маніпулювати та обговорювати молекулярні структури в імерсивному 3D-середовищі, доступному через веббраузер.

*Функціональні можливості:* багатокористувацький режим (спільна AR/VR-сесія); синхронізована взаємодія з моделями; обертання, масштабування та розбір молекул на атоми; робота через браузер без встановлення; підтримка VR-контролерів.

*Тип діяльності учнів:* спільне моделювання, обговорення структури молекул, командні дослідницькі заняття в імерсивному середовищі.

### **chemAR**



chemAR – застосунок доповненої реальності, який перетворює навчання хімії на інтерактивний досвід. Він надає можливість учням візуалізувати складні хімічні концепції в їхньому реальному просторі.

*Функціональні можливості:* побудова молекул у реальному просторі; симулювання хімічних реакцій у 3D; AI-підтримка (пояснення, відповіді, вибір моделей); AR-візуалізація орбіталей, молекул, кристалічних структур; робота з періодичною таблицею.

*Тип діяльності учнів:* створення моделей, дослідження реакцій, аналіз орбіталей, індивідуальні AR-дослідження.

**Chemistry VR (Futuclass)** (<https://futuclass.com/>) – VR-платформа, призначена для вивчення хімії у форматі VR-уроків і місій за допомогою VR-гарнітури Meta / Pico.

*Функціональні можливості:* навчальні модулі за принципом ігрових місій; симуляція лабораторних експериментів (електроліз, реакції, атомна структура); відтворення небезпечних експериментів без ризику; інтегрована система контролю прогресу; відповідність шкільній програмі.

*Тип діяльності учнів:* виконання VR-експериментів, вивчення складних тем через ігрові сценарії, формування практичних навичок.

**Vic's Science Studio – VR Chemistry Lab** – симулятор віртуальної реальності, спеціально розроблений для реплікації досвіду роботи у справжній хімічній лабораторії (<https://xreadylab.com/simulations/vics-science-studio-chemistry-lab-in-virtual-reality/>).

*Функціональні можливості:* високореалістична VR-симуляція лабораторного обладнання; навчання лабораторних навичок: вимірювання, роботи з реактивами; моделювання помилок та їхніх наслідків; модулі для старшої та вищої школи; тренування без ризику та витрат на реактиви.

*Тип діяльності учнів:* виконання лабораторних робіт, тренування технік хімічних вимірювань, безпечне моделювання помилок.

### 5.3. AR-застосунки для вивчення періодичної системи елементів

Наведені нижче програми поєднують візуалізацію таблиці Менделєєва з AR-моделями атомів, орбіталей, радіусів, електронних оболонок. Такі програми особливо корисні для учнів, які сприймають абстрактні закономірності тільки тоді, коли мають змогу побачити їх у графічній чи просторовій формі.

Застосунок	Дидактичний потенціал	Методичні рекомендації для вчителя	Теми курсу хімії
<b>360ed's Element AR</b>	3D-візуалізація атомної будови елементів; порівняння властивостей; інтерактивне навчання	Демонструвати будову атомів, електронні оболонки, порівнювати властивості елементів; можна використовувати для індивідуальних завдань і групових досліджень	Періодична система, атомна будова, властивості елементів, групи та періоди
<b>Periodic Table AR</b>	3D-моделі атомів, молекул, інтерактивні дані; AR-маркер для навігації	Використовувати для наочних уроків з періодичної системи: електронна конфігурація, фізико-хімічні властивості, реакційна здатність елементів	Періодична система, властивості елементів, електронна конфігурація, хімічні реакції
<b>AR 4D Periodic Table</b>	AR без маркерів, інтерактивні моделі елементів у 3D; класифікація елементів	Використовувати для демонстрацій у класі або на лабораторних роботах: будова атома, класифікація елементів, періодичні тенденції; інтерактивні вправи	Періодична система, атомна структура, класифікація елементів
<b>Chemistry AR+</b>	Візуалізація атомів і молекул у доповненій реальності;	Для пояснення зміни властивостей елементів у групах і періодах; наочне	Атомна будова, електронні орбіталі,

Застосунок	Дидактичний потенціал	Методичні рекомендації для вчителя	Теми курсу хімії
	демонстрація періодичних тенденцій	відображення електронних оболонок	періодична система
<b>QuimiAR</b>	Вивчення атомних та молекулярних структур в AR; демонстрація хімічних зв'язків	Використовувати для наочних вправ з атомами елементів та порівняння властивостей	Атомна будова, типи хімічних зв'язків, періодична система

### *360ed's Element AR*

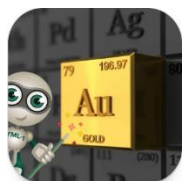


360ed's Element AR – мобільний застосунок доповненої реальності, що працює з AR-картками та дає змогу вивчати хімічні елементи у форматі 3D-візуалізацій. Учні можуть бачити будову атома, властивості та приклади застосування елементів у реальному світі.

*Функціональні можливості:* 3D-візуалізація хімічних елементів у форматі AR; моделі атомів з електронними оболонками; показ молекул, йонних та ковалентних зв'язків; аудіо- та текстові пояснення основних характеристик елементів; порівняння властивостей кількох елементів; робота з AR-картками для індивідуальної та групової роботи.

*Тип діяльності учнів:* вивчення та порівняння елементів; дослідження будови атома; робота в парах з AR-картками; інтерактивне моделювання простих реакцій.

### *Periodic Table AR*



Periodic Table AR (від Sofia Tech Park) – безоплатний застосунок для візуалізації хімічних елементів у доповненій реальності через маркери. Показує 3D-моделі атомів, молекул та кристалічних ґраток з основними характеристиками.

*Функціональні можливості:* 3D-візуалізація атомів, ґраток і молекул; AR-режим із використанням маркерів; миттєвий показ властивостей елементів (атомна маса, електронна конфігурація тощо); короткі навчальні пояснення й вікторини; можливість моделювати окремі реакції.

*Тип діяльності учнів:* перегляд просторової будови елементів; робота з маркерами на уроці; виконання інтерактивних завдань та вікторин; дослідження періодичних закономірностей.

### **AR 4D Periodic Table**



AR 4D Periodic Table – мобільний застосунок доповненої реальності, який працює без маркерів та генерує 3D-моделі атомів безпосередньо на столі чи іншій поверхні.

*Функціональні можливості:* AR-візуалізація атомів без карток або спеціальних маркерів; детальні дані про елементи: атомна маса, кількість протонів, нейтронів, електронів, електронні оболонки; поділ елементів на 10 груп (неметали, інертні гази, лужні метали тощо); перегляд моделей у різних масштабах.

*Тип діяльності учнів:* дослідження будови атомів у реальному просторі; самостійне вивчення властивостей елементів; класифікація елементів за групами; візуалізація періодичних закономірностей без спеціальних матеріалів.

### **5.4. Віртуальні хімічні лабораторії та симуляції**

Це програмні середовища, що надають можливість учням виконувати лабораторні роботи у VR/AR або у вигляді комп'ютерних симуляцій. Вони відтворюють роботу шкільної лабораторії з контрольованими умовами та детальними параметрами реакцій.

<b>Застосунок</b>	<b>Дидактичний потенціал</b>	<b>Методичні рекомендації для вчителя</b>	<b>Теми курсу хімії</b>
<b>ChemCollective (Virtual Lab)</b>	Повна віртуальна лабораторія з інструментами для роботи з реактивами; моделювання розчинів, стехіометрії, кислотно-основних реакцій, термохімії	Використовувати для демонстрації реакцій, проведення лабораторних робіт онлайн, перевірки гіпотез, організації дослідницьких проєктів	Кислотно-основна хімія, стехіометрія, хімічна рівновага, термохімія, редокс-реакції, розчинність
<b>Chemistry Lab (Android)</b>	Симуляція понад 300 речовин і 1000 реакцій; імітація	Використовувати для домашніх або класних лабораторних завдань,	Основні лабораторні реакції,

Застосунок	Дидактичний потенціал	Методичні рекомендації для вчителя	Теми курсу хімії
	лабораторних процесів	ознайомлення з основними реакціями, тренування навичок комбінування реагентів	органічна хімія, неорганічна хімія
<b>Chemistry Lab (Electrolytic Earth)</b>	Ігровий тренажер для органічних реакцій; застосування флешкарток	Для перевірки знань, повторення тем в інтерактивному форматі, закріплення механізмів реакцій	Органічна хімія, механізми реакцій, стереохімія
<b>AR VR Molecules Editor Free</b>	Моделювання молекул у доповненій та віртуальній реальності; відтворення реакцій	Використовувати для демонстрації динаміки хімічних процесів у VR/AR; відпрацювання концепцій типів зв'язків і конформацій молекул	Органічна та неорганічна хімія, молекулярна структура
<b>MoleculARweb (AR-вебплатформа)</b>	Створення AR-моделей молекул, дослідження орбіталей, форм молекул, водневих зв'язків	Використовувати як інтерактивне доповнення до лабораторних: спостереження за просторовою будовою молекул, взаємодіями	Будова молекул, водневі зв'язки, орбіталі, біохімія
<b>ModMol</b>	Візуалізація 3D-молекул та їх реакцій в AR	Використовувати для демонстрацій та дослідницьких завдань на уроці, інтерактивна робота груп	Органічна хімія, молекулярна геометрія, реакції
<b>Molecular Constructor</b>	Створення та оптимізація молекул; базове моделювання реакцій	Використовувати для відпрацювання побудови молекул та перевірки результатів реакцій у безпечному середовищі	Органічна і неорганічна хімія, реакції та молекулярні конформації

### *ChemSketch (ACD/Labs)*

ChemSketch (<https://www.acdlabs.com/resources/free-chemistry-software-apps/chemsketch-freeware/>) – безоплатне програмне забезпечення для створення, редагування та візуалізації хімічних структур. Орієнтоване на учнів, які мають

достатній рівень підготовки з хімії, та використовується для моделювання молекул, вивчення просторової будови та побудови хімічних схем. Допомогає формувати навички хімічного аналізу й роботи з молекулярними моделями у 2D та 3D.

*Функціональні можливості:*

- побудова структур органічних і неорганічних сполук у 2D;
- перегляд та обертання моделей у 3D-режимі;
- автоматична генерація назв простих сполук за правилами IUPAC;
- інструменти для створення хімічних схем, реакційних механізмів і лабораторної апаратури;
- розрахунок молекулярної маси, формули, складу та окремих параметрів речовин;
- імпорт і експорт структур у форматах MOL, CML та інших;
- бібліотека фрагментів молекул для прискореної побудови моделей.

*Тип діяльності учнів:*

- побудова і дослідження просторової та електронної структури молекул;
- аналіз механізмів реакцій;
- створення хімічних схем і графічних моделей;
- моделювання сполук перед виконанням реального експерименту;
- відпрацювання навичок хімічного дизайну та структурної інтерпретації.

***ChemCollective (Carnegie Mellon University)***

ChemCollective (<https://chemcollective.org/>) – онлайн-платформа, що надає доступ до віртуальної лабораторії, симуляцій, інтерактивних сценаріїв та навчальних задач із хімії. Ресурс підтримується National Science Foundation і призначений для шкільної та університетської підготовки, доповнюючи практичне навчання віртуальними експериментами.

Основні компоненти платформи:

1. Virtual Lab – віртуальна лабораторія відтворює роботу реального хімічного середовища: доступні реактиви, лабораторний посуд, вимірювальні інструменти та стандартні лабораторні операції (дозування, змішування, нагрівання, титрування).

Працює як у вигляді Java-додатка, так і HTML5-версії для сучасних браузерів та планшетів.

## 2. Навчальні активності та симуляції:

- готові задачі з концентрації, стехіометрії, кислотно-основної хімії, рівноваги, термохімії, розчинності, редокс-процесів;
- автоматичне оцінювання з миттєвим зворотним зв'язком;
- сценарії «реального світу» (наприклад, визначення арсену у воді, хімічні детективні розслідування);
- інтерактивні підручники: текст + відео + симуляції + практика.

## 3. Ресурси для викладачів:

- готові завдання та симуляції;
- можливість отримати індивідуально створені сценарії для класу;
- розгорнута документація, гіді, відеоінструкції.

*Тип діяльності учнів:* виконання віртуальних експериментів у безпечному цифровому середовищі; тренування практичних навичок, таких як титрування, приготування розчинів, вимірювання маси та об'єму; розв'язування інтерактивних задач з автоматичною перевіркою; робота за готовими або авторськими сценаріями; підготовка до реальних лабораторних робіт.

## **6. Програми та застосунки для організації імерсивного навчання біології в академічних ліцях**

Імерсивні технології відкривають нові можливості для вивчення біології – науки, що поєднує багаторівневі процеси від молекулярних структур до цілісних екосистем. Значна частина біологічних явищ є недоступною для прямого спостереження, тому AR/VR-середовища, 3D-візуалізації та віртуальні лабораторії надають можливість відтворювати складні процеси у наочній, доступній та дослідницькій формі. Такі інструменти забезпечують можливість «занурення» в клітину, орган або екосистему, простеження динаміки біологічних явищ, проведення безпечних експериментів і відпрацювання наукових процедур, які в реальних умовах часто обмежені часом, ресурсами або етичними вимогами.

Застосування імерсивних технологій у навчанні біології сприяє формуванню системного бачення живої природи, розвитку просторового та аналітичного мислення, удосконаленню дослідницьких умінь та підвищенню навчальної мотивації. Для старшокласників академічних ліцеїв такі інструменти стають не лише засобом візуалізації, а й платформою для моделювання процесів, проведення віртуальних лабораторних робіт, вивчення анатомії у форматі 3D/AR, аналізу генетичних механізмів та опрацювання міждисциплінарних задач.

У цьому розділі узагальнено найбільш ефективні програми й застосунки, систематизовано їх за функціональністю та дидактичним призначенням, а також визначено можливості їх педагогічного використання в навчальному процесі академічних ліцеїв.

### ***6.1. Платформи 3D-візуалізації та AR-застосунки анатомії та фізіології***

Платформи 3D-візуалізації становлять один із найбільш ефективних напрямів імерсивного навчання біології, оскільки надають можливість демонструвати будову органів, тканин та систем організму у формах, недоступних для звичайних підручників чи плакатів. Спільною рисою таких ресурсів є поєднання високоточних тривимірних моделей, багаторівневої деталізації (від організму до клітинних структур) та інтерактивних інструментів, що дозволяють

«розбирати» анатомічні об'єкти, змінювати масштаб, обертати їх, накладати системи та аналізувати їхню взаємодію.

Більшість платформ пропонують можливість візуалізувати не лише статичні структури, а й динамічні фізіологічні процеси: роботу серця, рух повітря в дихальній системі, проведення нервового імпульсу, скорочення м'язів тощо. AR/VR-середовища розширюють цей потенціал, дозволяючи розміщувати моделі в реальному просторі або працювати з ними в повному зануренні, що сприяє розвитку просторового мислення та кращому розумінню механізмів роботи організму.

Платформа / застосунок	Дидактичні особливості (освітній потенціал)	Методичні рекомендації для вчителя
<b>Visible Body / Human Anatomy Atlas</b>	Точні 3D-моделі органів і систем. Пошаровий перегляд будови органів. AR-проекція тіла людини у класі. Анімації базових фізіологічних процесів.	Використовувати для фронтальної демонстрації будови органів перед поясненням нового матеріалу. Показувати пошарову структуру для порівняння «будова – функція». Давати учням короткі мікродослідження. Після перегляду AR-моделі застосовувати структуру «спостерігаю – аналізую – пояснюю».
<b>BioDigital Human</b>	Інтерактивні 3D-моделі з можливістю вмикати/вимикати системи тіла. Моделювання порушень роботи органів та їхнього впливу на системи. Довідкові пояснення та підписи.	Використовувати під час практичних занять для аналізу роботи окремих систем органів. Робити порівняння «норма та порушення» для формування причинно-наслідкових зв'язків. Доручати учням створювати власні маршрути перегляду структури організму та короткі усні презентації.
<b>Anatomy 4D</b>	Простий AR-застосунок для базових моделей серця, скелета, м'язів. Працює на друкованих маркерах. Можна «розмістити» модель органа в реальному просторі класу.	Застосовувати на етапі мотивації уроку як коротку AR-демонстрацію. Організувати роботу в парах: один керує моделлю, інший фіксує спостереження. Використовувати на інтегрованих уроках (наприклад, біологія + фізична культура).

Платформа / застосунок	Дидактичні особливості (освітній потенціал)	Методичні рекомендації для вчителя
<b>Human Body (Male) Educational VR 3D</b>	Повністю занурене VR-середовище з оглядом анатомічних структур. Можливість масштабування органів. Озвучені пояснення.	Використовувати в малих підгрупах через VR-станції. Проводити індивідуальні мініекскурсії з обговоренням «що побачили і як це пов'язано з функцією». Підходить для поглибленого вивчення або факультативів.
<b>Curiscope Virtuali-Tee</b>	AR-візуалізація внутрішніх органів за допомогою тематичної футболки. Демонстрація роботи серця, легень, травної системи. Аудіокоментарі та підказки.	Використовувати як мотиваційний інструмент на початку теми (дихальна, травна, кровоносна системи). Організувати групові обговорення, де один учень виступає «моделлю». Просити учнів висловлювати гіпотези після перегляду AR-візуалізації.
<b>zSpace Biology (анатомічні модулі)</b>	Поєднання VR і фізичних стилусів для маніпуляцій 3D-об'єктами. Розбір органів та систем на складники. Готові навчальні сценарії та завдання.	Використовувати як лабораторний практикум для формування дослідницьких навичок. Доручати учням створювати власні анатомічні моделі або проєкти. Поєднувати з друкованими лабораторними роботами або робочими аркушами.

### *Visible Body Biology*



Visible Body Biology (<https://www.visiblebody.com/>) – інтерактивна платформа для візуального вивчення анатомії та фізіології людини, що надає доступ до докладних 3D-моделей органів і систем. Програма підтримує багаторівневе подання навчального змісту: від оглядових моделей до глибокого аналізу структур та їхньої взаємодії. Завдяки можливості масштабування, анімаціям та побудові власних навчальних сцен вона забезпечує гнучке використання як під час вивчення нового матеріалу, так і під час закріплення знань.

Платформа доступна у вебверсії та мобільних застосунках, що надає можливість використовувати її в умовах змішаного навчання. Особливо цінною є можливість створення власних матеріалів (колекцій моделей, коротких

інтерактивних презентацій), що спрощує адаптацію ресурсу до конкретної теми уроку. У процесі навчання її доцільно використовувати для візуалізації складних біологічних процесів та проведення віртуальних лабораторних робіт. Вона може бути інтегрована з навчальними платформами для оцінювання та відстеження прогресу учнів. Викладачі можуть використовувати готові уроки, плани лабораторних робіт та інтерактивні завдання для покращення процесу навчання.

*Дидактичні особливості:* використання програми дає змогу точно візуалізувати будову органів; формує аналітичні навички через пошаровий огляд та порівняння структур.

*Функціональні можливості:* 3D-моделі анатомічних структур людини з детальним маркуванням; інтерактивні анімовані симуляції фізіологічних процесів (дихання, кровообіг, передача нервових імпульсів тощо); тематичні колекції моделей для окремих систем органів – кісткової, м'язової, нервової, травної, дихальної тощо; опитування та візуальні тести, які дозволяють перевірити знання учнів у форматі гри; можливість створювати власні уроки або інтерактивні тури з 3D-об'єктами.

### ***Human Anatomy Atlas 2024 (Visible Body)***



Human Anatomy Atlas 2024 (Visible Body) – мобільний платний застосунок для вивчення людської анатомії в інтерактивному 3D-форматі, який може бути використаний для організації навчання як учнів, так і студентів медичних та біологічних спеціальностей.

Основні можливості: 3D-моделі чоловічого та жіночого тіла; детальні органи та системи; м'язи та кістки; моделі фасцій; інтерактивні інструменти в доповненій реальності; кросворди та вікторини для перевірки знань та самоконтролю; презентації.

### ***BioDigital Human***



BioDigital Human – хмарна інтерактивна платформа, що моделює анатомію, фізіологію та широкий спектр медико-біологічних станів. На відміну від традиційних атласів, ресурс спрямований не лише на будову, а й на функціональні зміни: патології, травми, медичні процедури.

Завдяки гнучкій системі шарів учитель може формувати індивідуальні «маршрути перегляду» та підбирати матеріал відповідно до навчальної теми. Платформа підтримує швидке створення інтерактивних пояснень та демонстрацій, що робить її зручною для використання навіть під час коротких фрагментів уроку.

*Дидактичні особливості:* підтримує розвиток причинно-наслідкового мислення через моделювання змін у тілі; сприяє клінічному типу мислення.

### **Anatomy 4D**



Anatomy 4D – мобільний застосунок, що забезпечує доступне та швидке AR-подання основ анатомії. Програма генерує тривимірні моделі органів і систем на основі друкованих маркерів, завдяки чому її можна застосовувати навіть у класах без спеціального обладнання.

Ресурс орієнтований на базове візуальне ознайомлення з будовою організму, що робить його придатним для мотиваційних та оглядових етапів уроку. Особливо ефективним є залучення учнів до роботи в парах чи групах, де вони спостерігають, коментують і формулюють запитання на основі AR-візуалізацій.

*Дидактичні особливості:* забезпечує швидку та доступну AR-візуалізацію; сприяє розвитку спостережливості та базових біологічних уявлень.

### **Human Body (Male) Educational VR 3D**



Human Body (Male) Educational VR 3D – застосунок, який пропонує огляд анатомічних структур у форматі тривимірних анімацій та простору, що змінюється відповідно до рухів користувача. Програма підтримує як звичайний 3D-перегляд, так і режим VR, що дозволяє «переміщуватися» всередині моделі або зблизька розглядати складні структури.

Застосунок орієнтований на учнів різного віку та може бути використаний для візуалізації тем, де важливо сформувати просторове уявлення. Наявність коротких опитувань дає можливість органічно поєднувати демонстрацію з контролем засвоєння знань.

*Дидактичні особливості:* створює ефект присутності та підсилює розуміння просторової структури тіла; підходить для демонстрацій у кабінеті VR.

## *Curiscope Virtuali-Tee*



Curiscope Virtuali-Tee (<https://curiscope.com/virtuali-tee/>) – програма, створена компанією Curiscope і представлена як застосунок, що працює зі спеціальною AR-футболкою під назвою Virtuali-Tee. У цій програмі поєднується цифрова візуалізація з фізичним об'єктом. Програма створює ефект «занурення всередину тіла», надаючи можливість розглядати внутрішні органи в реальному масштабі та контексті.

Такий формат сприяє контекстуальному та емоційно забарвленому навчанню – учні бачать моделі «на собі» або однокласників, що підвищує мотивацію та уважність. Ресурс може бути ефективним як для фронтальних демонстрацій, так і для групової роботи під керівництвом учителя.

*Дидактичні особливості:* викликає високий емоційний інтерес; забезпечує ефект присутності та мотиваційний імпульс до вивчення теми.

*zSpace Biology* (<https://www.zspace.com>) – частина імерсивної освітньої екосистеми zSpace, що поєднує 3D-візуалізацію, VR-ефекти та інструменти маніпуляції моделями за допомогою стилуса. Програма розроблена для підтримки дослідницького навчання: учні можуть «розбирати» структури, аналізувати розташування органів та моделювати біологічні процеси.

Модулі містять готові навчальні сценарії та лабораторні вправи, які забезпечують методичну відповідність та сприяють інтеграції програми у формати лабораторних занять, практичних робіт або проектної діяльності. zSpace особливо ефективна для шкіл, що мають обладнані STEM-лабораторії, оскільки ця програма розрахована на освітні установи, які спеціалізуються на імерсивному навчанні.

*Дидактичні особливості:* розвиває дослідницькі вміння; надає можливість моделювати складні процеси та збирати структури органів.

## ***6.2. Інструменти для молекулярної та клітинної біології (3D-молекули, AR/VR, візуалізація)***

Молекулярний та клітинний рівні організації життя традиційно є одними з найскладніших для учнів через високу абстрактність, складність структур і

неможливість безпосереднього спостереження. Імерсивні технології сприяють подоланню труднощів, що виникають, забезпечують наочне, динамічне й просторове представлення молекул, клітинних органел та процесів.

Використання 3D-, AR- і VR-інструментів дає змогу:

- візуалізувати структуру білків, ДНК, РНК, ферментів та клітинних комплексів у високій деталізації;
- демонструвати взаємодії;
- розглядати біологічні процеси динамічно – згортання білків, реплікацію ДНК, транспорт через мембрани;
- формувати просторове мислення, критично важливе для розуміння біохімії та молекулярної біології;
- створювати умови для мінідосліджень, коли учень самостійно взаємодіє з моделями та висуває гіпотези;
- підтримувати міжпредметні зв'язки: біологія + хімія + біоінформатика на профільному рівні вивчення предмета.

Нижче подано систематизовану таблицю інструментів для молекулярної та клітинної біології з описом їхнього дидактичного потенціалу та рекомендаціями для використання на уроках.

Платформа / застосунок	Дидактичні особливості (освітній потенціал)	Методичні рекомендації для вчителя
<b>Mol* Viewer</b>	Візуалізація 3D-структур білків, нуклеїнових кислот та їхніх комплексів. Підтримка різних стилів відображення (стрічки, поверхня, кулі-стрижні). Розвиток просторового мислення та розуміння структурно-функціональних взаємозв'язків молекул.	Демонструвати будову білків та ДНК, порівнювати конформації молекул. Давати завдання на пошук активних центрів або аналіз структурних відмінностей. Використовувати як підтримку до теоретичного матеріалу з біохімії.
<b>NGL Viewer</b>	Вебінструмент для перегляду 3D-молекулярних структур та комплексів. Підтримка інтеграції з LMS та презентаціями. Сприяє формуванню навичок	Використовувати для коротких демонстрацій на уроках. Організовувати інтерактивні вправи з порівняння моделей білків. Надавати учням

Платформа / застосунок	Дидактичні особливості (освітній потенціал)	Методичні рекомендації для вчителя
	самостійного дослідження та аналізу структур.	посилання для самостійної роботи.
<b>MoleculARweb</b>	AR-візуалізація молекул, хімічних зв'язків та клітинних процесів (дифузія, осмос, мембрани). Підтримка карток-маркерів для інтерактивного навчання. Підвищує залученість учнів через візуалізацію абстрактних процесів.	Використовувати під час лабораторних або демонстраційних занять. Поєднувати з короткими дослідницькими завданнями. Забезпечити учням картки-маркери заздалегідь для ефективної роботи.
<b>Protein VR (AppMinded)</b>	VR-демонстрація складних білків, можливість «занурення» в структуру молекули. Підтримка інтерактивних підказок для навчання. Сприяє формуванню просторового та критичного мислення.	Використовувати для аналізу структур білків (гемоглобін, ферменти). Давати завдання на ідентифікацію $\alpha$ -спіралей, $\beta$ -листів. Поєднувати з розбором мутацій або структурних змін у біохімії.
<b>iMolview Lite</b>	Мобільний 3D-візуалізатор молекул (білки, ДНК, ліки) з підтримкою обертання, стилів відображення та виділення окремих елементів. Розвиває просторове мислення та розуміння взаємозв'язку структури і функції молекул.	Використовувати для демонстрацій молекул та ДНК/РНК, організувати індивідуальну чи групову роботу. Поєднувати з теоретичними темами та домашніми завданнями.
<b>StarBiochem</b>	Вебресурс для моделювання біомолекул та аналізу структурних особливостей білків. Підтримка інтерактивного навчання та дослідження активних сайтів білків.	Використовувати для порівняння білків, виявлення функціональних сайтів, створення мініпроектів у класі або як доповнення до лабораторних занять.

### *Mol\*Viewer*

Mol\*Viewer (<https://molstar.org/>) – безоплатний веб-інструмент для візуалізації 3D-структур білків, нуклеїнових кислот та молекулярних комплексів. Використання платформи надає можливість обертати, масштабувати та виділяти окремі ланцюги чи домени молекул, що сприяє формуванню просторового мислення і розумінню взаємозв'язку структури та функції молекул.

*Педагогічний потенціал:* використання Mol\*Viewer допомагає учням побачити реальні тривимірні моделі біомолекул, краще зрозуміти тему «Будова ДНК», структурну організацію білків та ензимів, а також взаємодію в молекулярних комплексах. Платформа особливо корисна для демонстрацій на уроці, під час групових або індивідуальних досліджень.

### ***NGL Viewer***

NGL Viewer (<http://nglviewer.org/ngl/>) – вебінструмент для інтерактивного перегляду білків, ДНК, РНК та інших біомолекул у 3D. Працює без встановлення додаткового ПЗ прямо в браузері, що робить його зручним для навчання як у класі, так і дистанційно.

*Педагогічний потенціал:* надає учням можливість досліджувати просторове розташування атомів у молекулах, що формує розуміння того, як структура визначає функцію. Особливо ефективний для візуального пояснення складних концепцій молекулярної біології та порівняння різних молекул у групових завданнях.

### ***MoleculARweb***

MoleculARweb (<https://molecularweb.epfl.ch/>) – безоплатна освітня вебплатформа, що поєднує 3D-візуалізацію та доповнену реальність для дослідження молекул. Учні можуть обертати, масштабувати та розглядати молекули в реальному просторі через вебкамеру або мобільний пристрій.

*Педагогічний потенціал:* сприяє розвитку просторового мислення та інтерактивного навчання, надає можливість краще зрозуміти атомну будову речовин, хімічні зв'язки та організацію молекул. Доцільне використання як під час вивчення тем «Будова речовини», «Хімічні зв'язки», так і «Будова ДНК і білків», «Молекулярна біологія» для поєднання дослідницької та візуальної діяльності учнів.

### ***ProteinVR***

ProteinVR (<https://durrantlab.pitt.edu/protein-vr/>) – вебдодаток із підтримкою VR, який надає можливість досліджувати 3D-структури білків та взаємодії з лігандами. Працює на ПК, планшетах та мобільних пристроях.

*Педагогічний потенціал:* надає учням можливість «зануритися» у молекулярну структуру білків, що допомагає формувати глибоке розуміння зв'язку структури та функції молекул. Особливо корисний для демонстрацій складних білкових структур і практичних завдань з аналізу функціональних ділянок білка.

### ***iMolview Lite***



iMolview Lite – мобільний безоплатний 3D-візуалізатор молекул, що підтримує інтерактивне обертання, різні стилі відображення (wires, balls-and-sticks, space-filling, ribbon) та виділення окремих атомів і ланцюгів. Можна завантажувати власні файли та працювати з великими базами даних PDB і DrugBank.

*Педагогічний потенціал:* платформа сприяє розвитку просторового мислення та розумінню взаємозв'язку структури і функції молекул. Використовується для демонстрацій будови білків, ДНК, порівняння молекулярних структур, а також для організації індивідуальної чи групової роботи учнів у класі.

### ***StarBiochem***

StarBiochem (star.mit.edu) – безоплатний веб-3D-візуалізатор білків, створений MIT у межах проєкту STAR. Він орієнтований на учнів, спрощує вивчення структури білків, показників конформацій і різних рівнів білкової структури (первинна, вторинна, третинна, четвертинна) у зручному й інтуїтивно зрозумілому інтерфейсі.

*Педагогічний потенціал:* надає можливість збільшити глибину вивчення навчального матеріалу; підтримує завдання та вправи, розроблені спеціально для навчального процесу: модельні вправи для дослідження білків, які можна використовувати як частину домашньої або класної роботи.

## ***6.3. Віртуальні лабораторії та симуляції біологічних експериментів***

Віртуальні лабораторії та симуляції біологічних експериментів у навчанні в академічних ліцеях надають можливість практично досліджувати біологічні процеси без фізичних ризиків і додаткових витрат. Учні можуть змінювати параметри експериментів, спостерігати за наслідками, формувати висновки та

моделювати складні процеси на клітинному, молекулярному та екосистемному рівнях. Ці ресурси поєднують 3D-візуалізацію, інтерактивні анімації та ігрове навчання, що сприяє розвитку просторового мислення, критичного аналізу та дослідницьких навичок, тобто тих компетентностей, що формують основу STEM-освіти.

Платформа / застосунок	Дидактичні особливості (освітній потенціал)	Методичні рекомендації для вчителя
<b>ННМІ BioInteractive – Virtual Labs</b>	Віртуальні лабораторії з генетики, клітинної біології, екології та еволюції. Інтерактивні 3D-симуляції, відео та завдання для розвитку спостережливості, аналізу та формування висновків. Підтримує активне навчання та моделювання експериментів.	Використовувати для демонстрації складних процесів. Давати завдання на аналіз результатів, порівняння експериментальних умов та формування висновків. Підходить для індивідуальної та групової роботи.
<b>BioMan Biology</b>	Віртуальні лабораторії з елементами ігрових симуляцій; досліди з фізіології, генетики, екології. Підвищує мотивацію та залучення учнів через інтерактивні ігрові елементи. Формує навички експериментування та прийняття рішень.	Використовувати для індивідуальної або групової роботи. Давати завдання на модифікацію умов експерименту, порівняння результатів та формування обґрунтованих висновків. Підходить для додаткових домашніх завдань.
<b>Suburban Science Virtual Labs</b>	Онлайн-лабораторії для дослідження клітин, ферментів, ДНК та інших біологічних процесів. Формує навички спостереження, планування та аналізу експериментів.	Використовувати для інтерактивних демонстрацій та самостійних досліджень учнів. Можна застосовувати як підготовку до реальних лабораторних робіт.
<b>Virtual Biology Lab</b>	Віртуальні моделі лабораторного обладнання та клітинних процесів. Інтерактивна зміна параметрів експерименту сприяє формуванню наукового мислення та послідовності дій у дослідженні.	Використовувати для відпрацювання послідовності експериментів, формування навичок спостереження, аналізу та інтерпретації результатів. Підходить для парної або групової роботи.

Платформа / застосунок	Дидактичні особливості (освітній потенціал)	Методичні рекомендації для вчителя
<b>Ask A Biologist – Virtual 360 Laboratories</b>	Панорамні 360° лабораторії для вивчення анатомії, фізіології та екології. Підтримка інтерактивних завдань та огляду середовища з усіх боків. Формує просторове уявлення та спостережливість.	Використовувати для віртуальних турів та інтерактивних досліджень. Давати завдання на виявлення структур, процесів та взаємозв'язків у моделі. Підходить для демонстрацій на уроці та самостійного навчання.
<b>zSpace Biology</b>	Лабораторні модулі з генетики, клітинної біології та екології; інтерактивна робота з 3D-моделями та підтримка AR/VR. Формує просторове мислення, уміння аналізувати та порівнювати біологічні структури.	Використовувати для поглибленого дослідження тем, організації лабораторних робіт у віртуальному середовищі, демонстрацій та групових проєктів. Можна поєднувати з традиційними матеріалами.
<b>VR-застосунки (MoleculeVR, WonderCell Chemokines, ProteinVR)</b>	VR-симуляції молекулярних і клітинних процесів з можливістю «занурення» в структури. Розвивають просторове мислення, увагу до деталей та розуміння динаміки біологічних процесів.	Використовувати для демонстрацій складних молекулярних процесів і дослідження взаємодій у клітинах. Поєднувати з теоретичним поясненням та лабораторними завданнями. Підходить для інтегрованих уроків та групових досліджень.

**HHMI BioInteractive** (<https://www.biointeractive.org>) – комплексна освітня екосистема, що поєднує віртуальні лабораторії, симуляції, анімації та наукові відеоматеріали. Ресурс створено на основі актуальних біологічних досліджень та розробок Медичного інституту Говарда Г'юза, що забезпечує високу наукову достовірність матеріалів.

Основні компоненти HHMI BioInteractive:

– *віртуальні лабораторії* – інтерактивні симуляції надають учням можливість проводити досліди в умовах, наближених до реальних, що сприяє глибшому розумінню наукових процесів;

– *анімації* – високоякісні анімації демонструють складні біологічні процеси, такі як реплікація ДНК, транскрипція та трансляція, клітинний цикл тощо;

– *відео* – документальні відео та інтерв'ю з науковцями надають учням можливість ознайомитися з реальними науковими дослідженнями та їхнім застосуванням у житті;

– *класні ресурси* – методичні матеріали для вчителів, зокрема плани уроків, поради щодо впровадження ресурсів у навчальний процес та ідеї для оцінювання.

***BioMan Biology*** (<https://biomanbio.com/>) – безоплатний освітній вебсайт, що пропонує інтерактивні ігри, віртуальні лабораторії та вікторини для учнів середньої та старшої школи. Платформа надає можливість навчатися у форматі ігрового та дослідницького середовища, де учні виконують завдання з різних розділів біології: клітинна структура, генетика, екологія, еволюція, організм людини та фізіологія. Кожен інтерактивний модуль супроводжується зворотним зв'язком, що допомагає учневі коригувати помилки та закріплювати знання. Платформа формує у здобувачів освіти вміння проводити прості експериментальні дослідження, аналізувати змінні та моделювати біологічні процеси, використовуючи інтерактивні інструменти.

***Suburban Science Virtual Labs*** (<https://suburbanscience.com/virtual-anatomy-labs/>) представляє колекцію інтерактивних симуляцій і цифрових лабораторій, орієнтованих на старшу школу. Платформа охоплює клітинну біологію, генетику, анатомію та фізіологію людини. Особливу увагу приділено моделюванню експериментів, які вимагають спеціального обладнання в реальних умовах. Значна частина ресурсів супроводжується навчальними матеріалами та структурованими завданнями, що дозволяє використовувати модулі у проєктній та дослідницькій діяльності.

*Функціональні можливості:*

– віртуальні біологічні лабораторії надають учням можливість проводити дослідження у безпечному цифровому середовищі, моделюючи реальні експерименти. Симуляції охоплюють теми клітинної біології, молекулярної генетики, екологічних взаємозв'язків і фізіології людини;

– у віртуальних анатомічних лабораторіях зібрано добірку якісних онлайн-ресурсів для вивчення анатомії та фізіології. Їх використання надає можливість розглядати структуру органів, систем організму та їхні функціональні взаємозв'язки у 3D-форматі;

– інтерактивні симуляції та анімації допомагають візуалізувати складні біологічні явища – наприклад, поділ клітин, передачу спадкової інформації чи роботу органів;

– інтеграція сучасних наукових даних: завдання базуються на актуальних біологічних дослідженнях і сприяють розвитку наукового мислення.

Для педагогів ресурс пропонує:

– готові плани уроків та методичні рекомендації для організації навчання за принципами дослідницької діяльності;

– інтерактивні модулі та практичні завдання, які можна адаптувати під різні рівні підготовки учнів;

– можливість інтегрувати віртуальні експерименти у змішане або дистанційне навчання;

– підтримку STEM-підходу через поєднання теоретичного матеріалу з практичними цифровими дослідженнями.

***Virtual Biology Lab*** (<https://virtualbiologylab.org/>) – безоплатний онлайн-ресурс, що пропонує набір комп'ютерних моделей, які відтворюють природні екологічні та генетичні системи. Платформа орієнтована на роботу з експериментальними змінними: учні можуть змінювати параметри середовища, спостерігати динаміку популяцій або фізіологічні відповіді організмів та аналізувати отримані результати. Симуляції створені за принципами дослідницького навчання і сприяють реалізації наукового методу.

*Функціональні можливості:* моделювання біологічних процесів; широкий спектр тематичних моделей; інтерактивні симуляції у форматах Java та HTML5; підтримка дослідницького підходу.

***Ask A Biologist*** (<https://askbiologist.asu.edu/>) – включає набір віртуальних лабораторій, панорамних 360° турів та інтерактивних ігор, розроблених

Університетом штату Аризона. Лабораторні моделі відтворюють різні напрями біології – від поведінкових експериментів до анатомічних досліджень. Формат 360° забезпечує ефект присутності в реальній лабораторії та дозволяє розглянути обладнання, біологічні об'єкти та хід експериментів у деталях. Окремі модулі містять інструменти мікроскопії, біомні віртуальні тури та інтерактивні інструкції.

Ключові ресурси:

1. Віртуальні лабораторії та симуляції (<https://askabiologist.asu.edu/explore/virtual-360-laboratories>).

– Manduca Caterpillar Experiment – віртуальна лабораторія для дослідження впливу температури на ріст гусениць Manduca;

– Bee Learning Lab – симуляція, що дозволяє тренувати бджіл і спостерігати, як різні типи винагород впливають на швидкість навчання;

– Bone Lab – інтерактивна лабораторія, у якій учні можуть досліджувати будову людського скелета, проводити віртуальну дисекцію та мікроскопічний аналіз.

2. 360-градусні віртуальні тури:

– University Laboratory VR 360 – занурення у віртуальну лабораторію вірусології ASU, де проводяться передові дослідження;

– OncoMux Biotechnology Company VR 360 – знайомство з біотехнологічним стартапом, що розробляє інноваційні ліки проти раку;

– Virtual Biomes – віртуальні подорожі різними біомами світу (тропічний ліс, савана, тундра тощо) з можливістю вивчати особливості екосистем.

3. Інтерактивні ігри та вікторини (<https://askabiologist.asu.edu/Quizzes>):

– Cell Anatomy Viewer – гра для вивчення структури клітини;

– Keys to the Ocean – освітня гра, що допомагає розпізнавати види риб і планктону;

– Ant Farm – віртуальний мурашник для дослідження поведінки мурах;

– Quizzes – тематичні вікторини з біології (анатомія, бактерії, бджоли, птахи тощо).

4. Ресурси для вчителів (<https://askabiologist.asu.edu/Teacher-Toolbox>):

– Teacher's Toolbox – набір інструментів для планування уроків, добору матеріалів та організації інтерактивної діяльності;

– Stories and Activities in Other Languages – навчальні матеріали, перекладені різними мовами.

**VR-застосунок** (*MoleculeVR, WonderCell Chemokines, ProteinVR*) – інструменти забезпечують занурення у тривимірне середовище, де учні можуть вивчати молекулярні та клітинні структури на рівні, недоступному у традиційних лабораторіях. VR-середовище надає можливість «побачити зсередини» білок, мембрану чи клітинну органелу, спостерігати динаміку процесів або взаємодію молекул. Програми орієнтовані на формування глибокого просторового уявлення та наочне пояснення молекулярних механізмів, зокрема взаємодії лігандів, рецепторів, ферментативних комплексів тощо.

#### **6.4. Платформи з генетики та сучасної біонауки**

Цифрові платформи, що охоплюють теми генетики та сучасної біонауки, дають можливість учням вивчати спадковість, структуру ДНК, мутації, генетичні хвороби, популяційні процеси та роботу генів у доступному інтерактивному форматі. Більшість ресурсів пропонують анімації, інтерактивні моделі, симуляції або віртуальні лабораторні дослідження, які допомагають пояснити складні біологічні явища на рівні, недоступному у звичайних шкільних умовах.

Такі інструменти сприяють формуванню дослідницьких компетентностей: постановці гіпотез, аналізу результатів, порівнянню моделей, роботі з даними. Водночас учителю важливо враховувати технічні обмеження платформ, а також те, що симуляції є моделями й не замінюють реальних експериментів.

<b>Платформа / Застосунок</b>	<b>Дидактичні особливості</b>	<b>Методичні рекомендації для вчителів</b>
<i>Learn.Genetics</i>	Інтерактивні модулі з тем спадковості, генів, хромосом, мутацій та генетичних хвороб; анімації, інтерактивні демонстрації процесів	Використовувати для пояснення складних концепцій генетики; пропонувати учням виконувати інтерактивні вправи для закріплення знань; інтегрувати в уроки з лабораторними завданнями

Платформа / Застосунок	Дидактичні особливості	Методичні рекомендації для вчителів
<i>Teach.Genetics</i>	Освітні ресурси для вчителів: плани уроків, лабораторні завдання, презентації та інтерактивні симуляції; фокус на спадковості та сучасній біонауці	Використовувати для планування уроків та лабораторних робіт; адаптувати матеріали під рівень класу; поєднувати з практичними та віртуальними експериментами
<i>HHMI BioInteractive</i>	Генетичні лабораторії, анімації клітинних і молекулярних процесів, інтерактивні модулі з генетики; відео та дослідження для глибшого розуміння	Використовувати для демонстрації лабораторних експериментів; наочне пояснення складних процесів; формувати завдання на аналіз даних та результатів експериментів
<i>Virtual Biology Lab</i>	Моделі популяційної генетики та екології; симуляції наслідків мутацій, спостереження за генетичними змінами в популяціях	Використовувати для формування дослідницьких компетентностей; організовувати групові проєкти та аналіз результатів; поєднувати з класними дискусіями

*Learn.Genetics* (<https://learn.genetics.utah.edu/>) – безоплатний освітній онлайн-ресурс Університету штату Юта (США), який надає доступні й науково достовірні матеріали для вивчення генетики, сучасної біонауки та питань здоров'я людини. Платформа орієнтована на учнів середньої та старшої школи і пропонує високоякісні інтерактивні візуалізації, що допомагають опанувати складні біологічні процеси.

Основні можливості *Learn.Genetics*:

- інтерактивні модулі та анімації, які пояснюють ключові генетичні процеси: реплікацію ДНК, транскрипцію, трансляцію, мутації, роботу генів;
- маніпуляції з моделями: створення або модифікація молекул ДНК, візуалізація впливу мутацій на структуру білків;
- розгляд широкого спектра тем, зокрема: основи генетики (хромосоми, каріотип, мітоз і мейоз); закономірності спадковості; генетичні захворювання та приклади мутацій; популяційна генетика; сучасні напрями біонауки.

Платформа для викладачів Teach.Genetics (<https://teach.genetics.utah.edu/>) є педагогічним розширенням Learn.Genetics і містить:

- готові конспекти уроків, лабораторні роботи, учнівські робочі зошити;
- інтерактивні симуляції та навчальні проєкти, адаптовані під шкільні стандарти;
- матеріали для організації дослідницької діяльності: моделювання мутацій, аналіз спадковості, вивчення впливу середовища на експресію генів.

Ці ресурси розроблені спеціально для вчителів, щоб підтримати ефективне планування уроків та інтеграцію цифрових інструментів у навчальний процес.

*Освітній потенціал платформи.* Learn.Genetics і Teach.Genetics поєднують візуалізацію, інтерактивність і наукову достовірність, що сприяє: глибокому розумінню складних генетичних явищ; формуванню критичного мислення; розвитку дослідницьких умінь, зокрема аналізу даних, формулювання гіпотез і побудови висновків; підвищенню мотивації через взаємодію з навчальними матеріалами у форматі симуляцій та практичних завдань.

Учні мають змогу виконувати інтерактивні вправи, проходити мінітести та працювати з моделями реальних біологічних процесів, що значно підвищує ефективність засвоєння навчального матеріалу.

## 7. Програми та застосунки для організації імерсивного навчання географії в академічних ліцеях

Сучасна географічна освіта активно інтегрує цифрові інструменти, що забезпечують імерсивність навчального середовища – занурення учнів у просторові, ландшафтні та соціально-економічні процеси через візуалізацію, моделювання та інтерактивні дослідження. Використання доповненої й віртуальної реальності, інтерактивних картографічних сервісів, 3D-моделювання та симуляцій сприяє розвитку просторової уяви, критичного мислення, умінь аналізувати географічні дані й ухвалювати рішення на основі моделей реальних ситуацій.

Для забезпечення системності в доборі цифрових інструментів доцільно класифікувати програми й застосунки для імерсивного навчання географії за їхнім функціональним призначенням та дидактичним потенціалом. У межах цих рекомендацій виокремлюємо такі групи:

- глобальні 3D-платформи для візуалізації Землі та ландшафтів;
- AR-/VR-застосунки для просторового вивчення географічних процесів;
- геоінформаційні системи та цифрові атласи;
- інтерактивні кліматичні, природничо-географічні та демографічні платформи;
- конструктори мультимедійних географічних проєктів;
- застосунки для ігрового навчання та перевірки знань із географії.

У межах кожної категорії розглянемо найбільш доцільні цифрові інструменти, проаналізовані за їхнім дидактичним потенціалом, функціональними можливостями та сценаріями використання в освітньому процесі академічного ліцею.

### 7.1. Глобальні 3D-платформи для візуалізації Землі та ландшафтів

Ресурс	Короткий опис можливостей	Дидактичний потенціал
<b>Google Earth (Web / Pro)</b>	3D-модель Землі; реалістичний рельєф і супутникові знімки; різні шари (кордони, рельєф, океани, зміни в часі);	Формування просторової уяви; аналіз рельєфу й ландшафтів; розвиток умінь читати карти та працювати з геоданими; створення

Ресурс	Короткий опис можливостей	Дидактичний потенціал
	інструменти вимірювання; створення проєктів і турів.	навчальних маршрутів і презентацій; географічні мінідослідження на основі реальних даних.
<b>Google Street View</b>	Панорамні огляди 360°; огляд реальних локацій; можливість віртуальних «польових досліджень».	Ефект присутності; віртуальні польові практики; аналіз міського середовища й антропогенних ландшафтів; формування спостережливості та вміння порівнювати території.
<b>NASA Worldview</b>	Супутникові знімки в реальному часі; шари погоди, температури, пожеж, викидів, хмарності, льодовиків; динаміка природних процесів.	Аналіз супутникових даних; дослідження кліматичних змін; формування екологічної компетентності; вивчення природних ризиків (урагани, пожежі, повені).
<b>ArcGIS Instant Apps – Atlas</b>	Шаблон вебдодатка для створення цифрового атласу: інтерактивні карти та шари, перегляд у 2D та 3D, можливість додавати/видаляти шари, змінювати прозорість, працювати із закладками, вимірювати відстані, площі та висоти.	Розвиток просторового мислення; аналіз географічних даних; робота з шарами карт та порівняння змін середовища; практичні завдання з географії та екології; створення навчальних проєктів.
<b>Cesium</b>	Вебплатформа 3D-візуалізації Землі; підтримка реалістичного рельєфу, фотограмметрії, LiDAR; можливість завантаження шкільних геоданих.	Дослідження 3D-ландшафтів; робота з великими геоданими; STEM-завдання; моделювання просторових змін; розвиток навичок читання складних геопросторових моделей.
<b>ArcGIS Earth</b>	Настільний застосунок для перегляду 3D-глобуса та 2D/3D-шарів; інструменти вимірювання; створення позначок та маршрутів.	Формування просторової грамотності; робота з форматами GIS; аналіз рельєфу та профілів висот; створення учнівських дослідницьких маршрутів.
<b>Marble (KDE)</b>	Легкий віртуальний 3D-глобус та картографічний переглядач; різні картографічні проєкції; історичні, політичні та фізичні карти; офлайн-робота; можливість перемикаєти карти та переглядати маршрути.	Формування базових картографічних умінь; розуміння проєкцій; розвиток просторового мислення; робота з різними видами карт; використання в школах з обмеженим доступом до інтернету.

**Google Earth** (<https://earth.google.com/>) – безоплатне (для основного функціоналу) програмне забезпечення та вебсервіс, що надає інтерактивну тривимірну модель Землі із супутниковими й аерофотознімками, можливістю досліджувати ландшафти, міста, географічні процеси та створювати власні геопросторові проекти. Додатково має освітню платформу «Google Earth Education» (<https://www.google.com/earth/education/>), яка містить готові навчальні заняття, маршрути-тури (Voyager) та інструменти для створення історій на глобусі.

*Методичні особливості використання:* підходить для демонстрацій, практичних робіт, аналізу реальних даних; може використовуватися як інструмент віртуальних подорожей або кейсів для досліджень; простий у використанні – підходить для фронтальної роботи та індивідуальних проектів учнів.

**Google Earth VR**– VR-версія дає змогу «подорожувати» світом у форматі занурення: оглядати природні об'єкти, міста, рельєф, здійснювати віртуальні польоти над територіями. Підтримує панорамні перегляди й перемикання масштабів від локального до глобального.

Посилання: [https://store.steampowered.com/app/348250/Google\\_Earth\\_VR/](https://store.steampowered.com/app/348250/Google_Earth_VR/)  
Посилання на освітній розділ: <https://www.google.com/earth/education/tools/geo-vr/>

*Методичні особливості:* використання можливе лише за наявності VR-гарнітур (HTC Vive, Oculus Rift тощо); підходить для факультативів, STEM-лабораторій, гуртків, демонстрацій у VR-лабораторіях.

**Google Street View** (<https://www.google.com/streetview/>) – безоплатний сервіс від Google, який надає можливість переглядати панорамні фотографії вулиць, міст, природних об'єктів і ландшафтів у 360°. Учні можуть «прогулюватися» містами, селищами, природними зонами, досліджувати архітектуру, географічне розташування, рельєф та екологічні особливості. Сервіс інтегрується з Google Maps, працює на ПК, смартфонах і планшетах, а також у VR-режимі через Google Cardboard або інші VR-пристрої.

*Методичні особливості:* корисний для тем «Місто», «Ландшафти світу», «Культурна географія», «Туризм»; можливе використання у VR-режимі через

мобільні гарнітури (Google Cardboard); забезпечує реалістичне імерсивне середовище для порівняння природних і антропогенних ландшафтів.

**NASA Worldview** (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>) – безоплатний вебсервіс від NASA для візуалізації супутникових даних у режимі реального часу та для аналізу просторово-часових змін на поверхні Землі. Доступний через будь-який сучасний браузер без необхідності встановлення додаткового ПЗ.

Сервіс візуалізує супутникові дані в режимі, наближеному до реального часу: пожежі, циклони, хмарність, викиди, льодовики, динаміку океану. Надає можливість створювати часові анімації й порівнювати зміни довкілля за роки та десятиліття.

*Методичні особливості:* один із найкращих інструментів для дослідницьких робіт, проєктів, STEM-діяльності; підходить для аналізу кліматичних змін, природних ризиків, сезонності; інтерфейс англійською мовою, що надає можливість використовувати його для інтегрованих уроків.

**ArcGIS Instant Apps – Atlas** (<https://doc.arcgis.com/en/instant-apps/latest/create-apps/atlas.htm>) – безоплатний браузерний вебзастосунок, що працює з картами ArcGIS Online. Надає можливість створювати цифрові атласи, інтерактивні набори карт і даних, керувати шарами, створювати закладки, порівнювати карти, перемикатися між 2D і 3D.

*Методичні особливості:* зручний для лабораторних робіт, проєктів, профільних і факультативних курсів; підходить для створення авторських атласів учителями або школярами; потребує стабільного інтернет-з'єднання та реєстрації у шкільному акаунті ArcGIS.

**Cesium** (<https://cesium.com/platform/cesiumjs/>) – вебплатформа для реалістичної 3D-візуалізації Землі; підтримка 3D Tiles; реальний рельєф, будівлі, атмосфера; висока чіткість моделей; можливість створювати власні шари.

*Методичні особливості:* доцільний для профільних ліцеїв, STEM-курсів, поглибленого вивчення просторових даних; підходить для створення учнівських наукових проєктів; вимагає мінімальних технічних компетентностей від учителя.

**ArcGIS Earth** (<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-earth/overview>) – безоплатна 3D-платформа Esri; візуалізація глобуса, рельєфу, шарів; робота з різними форматами геоданих; інструменти вимірювання, аналізу та навігації.

*Методичні особливості:* зручний для практичних робіт і аналізу локальних територій (Україна, регіони); працює офлайн, якщо вчитель заздалегідь завантажить дані; оптимальний для уроків у класах зі слабшою технікою.

**Marble (KDE)** (<https://marble.kde.org/>) – безоплатний, із відкритим вихідним кодом та можливістю працювати поза мережею Інтернет легкий 3D-глобус із можливістю перемикати різні картографічні проєкції, переглядати історичні, політичні та фізичні карти. Підходить для шкіл з обмеженим доступом до Інтернету, може бути встановлений на слабкі ПК.

*Методичні особливості:* надає можливість пояснювати картографічні проєкції, масштаб, базові просторові уявлення; підходить для учнів основної школи та як доповнення для ліцеїв.

### **Earth 3D Map**



**Earth 3D Map** (<https://earth3dmap.com/>) – мобільний застосунок, який дає тривимірне зображення земної поверхні з використанням супутникових, картографічних



та вуличних даних. Його використання надає можливість переглядати ландшафти, будівлі, вулиці, вимірювати відстані чи площі, вибирати різні шари карти.

*Функціональні можливості:* тривимірна візуалізація ландшафтів і урбанізованих територій; інтерактивні вимірювання та аналіз; перегляд супутникових даних та історичних зображень місць; вуличний огляд міст та населених пунктів; доступ до різних картографічних шарів; зміна стилю карти (супутниковий, вуличний, топографічний).

## **7.2. AR-/VR-застосунки для просторового вивчення географічних процесів**

Використання технологій доповненої та віртуальної реальності в шкільній географії має низку специфічних особливостей, що визначають їхню педагогічну

доцільність та ефективність. AR-/VR-інструменти надають можливість створювати інтерактивні моделі природних процесів, підсилюють просторове мислення та забезпечують дослідницький підхід до навчання. Нижче подано узагальнену таблицю сучасних AR-/VR-застосунків і цифрових 3D-ресурсів, які можуть бути використані для просторового вивчення географічних процесів у закладах загальної середньої освіти.

<b>Ресурс</b>	<b>Короткий опис можливостей</b>	<b>Дидактичний потенціал</b>	<b>Тематика використання</b>
<b>ARC Geography</b>	3D-моделі материків, рельєфу, вод, кліматичних поясів; зчитування AR-маркерів; анімовані процеси.	Формування просторової уяви; розуміння географічних процесів; розвиток навичок спостереження у 3D; інтерактивна візуалізація абстрактних понять.	Форма поверхні Землі; материки й океани; кліматичні пояси; природні зони.
<b>CleverBooks Geography</b>	AR-підручник із маркерами; 3D-об'єкти (гори, річки, вулкани, тварини); підтримка мобільних пристроїв.	Покращення розуміння взаємозв'язків у природних комплексах; розвиток дослідницьких умінь; підтримка інтегрованих уроків.	Природні комплекси; біоми; гідрографія; геоморфологічні об'єкти.
<b>GeoGeek AR – Geography Quiz</b>	AR-глобус, візуалізація країн, океанів, прапорів; інтерактивні вікторини; геолокація.	Мотивація до навчання через ігрові елементи; закріплення знань про країни та регіони; розвиток просторового орієнтування.	Політична карта світу; адміністративний поділ; країнознавство.
<b>Multi Globe AR</b>	AR-глобус із маркером; 3D-показ об'єктів на глобусі (клімат, населення, рельєф, тварини); «оживлення» глобуса у смартфоні.	Формування цілісного уявлення про Землю; поєднання фізичного глобуса та цифрового змісту; підтримка STEAM-навчання.	Геосистеми; клімат; природні ресурси; населення; екологія.
<b>Merge Explorer (географічні модулі)</b>	Набір AR-сцен для рельєфу, вулканів, водних систем, атмосферних явищ; використання Merge Cube; анімовані процеси.	Розуміння динамічних явищ (вулканізм, кругообіг води); моделювання процесів; робота з 3D-моделями; дослідницькі завдання.	Вулканізм; гідрологічні процеси; атмосфера; геодинаміка.

Ресурс	Короткий опис можливостей	Дидактичний потенціал	Тематика використання
<b>VR Earth (Wander / Oculus)</b>	Подорожі планетою у форматі 360°; огляд міст, пустель, гір, океанів; перехід між локаціями.	Мотивація та емоційне занурення; розвиток географічної грамотності; порівняння природних комплексів; регіональні дослідження.	Природні зони; клімат; регіональна географія.



**ARC Geography** – мобільний застосунок, розроблений компанією CleverBooks Limited (<https://www.cleverbooks.eu/>), що використовує доповнену реальність та 3D-моделі для вивчення географії: країн, природного середовища, клімату, флори та фауни, культурної спадщини. Призначений для індивідуальної та групової роботи у класі або дистанційно.

*Особливості та можливості:* вивчення політичної карти, країн, континентів, столиць, прапорів та природних особливостей; демонстрація кліматичних та сезонних явищ, природних процесів, взаємодії екосистем; інтерактивні завдання, що стимулюють самостійну або групову діяльність; AR-візуалізація моделей у фізичному просторі класу, що підсилює занурення.



**CleverBooks Geography** – освітній мобільний застосунок із функцією AR для детального дослідження країн, континентів, флори, фауни та пам'яток.

*Особливості та можливості:* 3D-моделі об'єктів із можливістю огляду з різних ракурсів; відображення політичної структури, культурних та природних пам'яток, сезонних змін; інтерактивність через фізичні маркери або карти, що активують AR-сцени; вбудоване тестування та ігрові елементи для перевірки знань.



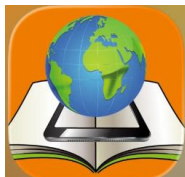
**GeoGeek AR – Geography Quiz** (<https://geogeek-ar.com/>) – мобільний освітній застосунок із елементами доповненої реальності, призначений для розвитку знань із географії через інтерактивні вікторини. У застосунку користувачі можуть розмістити тривимірну модель Землі у своєму просторі, обертати її, досліджувати, відповідати на запитання з різних категорій: країни, столиці, прапори, річки, гори, океани та інші.

*Особливості та можливості:* розміщення та обертання 3D-глобуса у фізичному просторі; вікторини з різних категорій: країни, столиці, прапори, річки, гори, океани; система рівнів складності, балів та нагород для мотивації; міжрегіональний контент для інтеграції тем «Регіональна географія» та «Світове господарство».



**Multi Globe AR** (<https://www.multiglobear.com/>) – безоплатний мобільний застосунок, який поєднує класичний фізичний глобус від виробника Zchem з технологією доповненої реальності. Користувач направляє камеру смартфона або планшета на глобус, після чого на його поверхні з'являються анімовані 3D-об'єкти, звуки й тематичні модулі: тварини, динозаври, пам'ятки, космічні об'єкти, розріз Землі, країни світу.

*Особливості та можливості:* тематичні модулі: тварини, динозаври, пам'ятки, космос, внутрішня будова Землі, країни світу; використання фізичного глобуса як маркера для AR-ефектів, анімованих 3D-об'єктів і звукових пояснень; фотофіксація та взаємодія з об'єктами.



**AR Planet Earth Geography** – застосунок доповненої реальності, який дає змогу «оживляти» модель Землі та розглядати географічні об'єкти у тривимірному вигляді.

*Дидактичний потенціал:* забезпечує візуалізацію абстрактних понять (структура Землі, тектонічні плити, зони клімату); надає учням можливість досліджувати модель інтерактивно, змінюючи масштаб, нахил і положення; підтримує формування просторового мислення та причинно-наслідкових зв'язків у природничих явищах; підсилює пізнавальну мотивацію через елемент «ефекту присутності»; сприяє диференціації навчання, адже учні працюють індивідуально з об'єктами AR.



**GlobeARound to Earth** використовує AR для створення інтерактивного глобуса, на якому можна переглядати материки, країни, рельєф, кордони й тематичні шари (клімат, природні зони тощо).

*Дидактичний потенціал:* допомагає учням розуміти глобальні просторові співвідношення (положення країн, океанів, екватора, меридіанів); дає можливість порівнювати географічні характеристики через накладання різних шарів; підтримує дослідницький підхід, коли учні самостійно вивчають явища, обираючи потрібну інформацію на глобусі; розвиває навігаційні та картографічні компетентності; забезпечує інтерактивність і наочність, недосяжну для звичайних плоских карт чи друкованих глобусів.

**VR Earth (Wander / Oculus)** – VR-застосунок для окулярів (Oculus / Meta Quest), що створює умови для переміщення у будь-яке місце світу.

*Особливості та можливості:* перегляд 360°-панорам реальних міст, природних об'єктів, пам'яток; віртуальні «польові практики» з географії та краєзнавства; збереження локацій та пошук за назвою для планування уроків; можливість групових занять через соціальні/мультиплеєрні функції.

### ***7.3. Геоінформаційні системи та цифрові атласи***

Геоінформаційні системи (ГІС) – це програмно-апаратні комплекси, що забезпечують збір, зберігання, аналіз, візуалізацію та інтерпретацію просторово-координованих даних. На відміну від традиційних карт, ГІС працюють із багатошаровими моделями територій, надаючи учням можливість досліджувати взаємозв'язки природних і соціально-економічних процесів на основі реальних просторових даних.

У шкільній географічній освіті ГІС виконують такі функції:

- візуалізаційна (представлення складних процесів у наочній формі);
- аналітична (порівняння даних, моделювання, виявлення закономірностей);
- дослідницька (створення учнівських мініпроектів, власних карт і атласів);
- практична (вимірювання відстаней, аналіз рельєфу, визначення ризиків).

Застосування ГІС сприяє розвитку цифрової, картографічної, інформаційно-аналітичної, природничої та екологічної компетентностей.

Цифрові атласи – це веборієнтовані або локальні інтерактивні картографічні збірники, що надають можливість працювати з тематичними шарами, порівнювати

карти, змінювати масштаби, виконувати вимірювання. На відміну від паперових атласів, вони забезпечують динамічність, постійно оновлюються та є інтерактивними.

Освітня роль цифрових атласів полягає у: 1) розвитку вміння читати карти цифрового типу; 2) формуванні просторової грамотності; 3) створенні власних картографічних продуктів; 4) організації дослідницьких мініпроектів; 5) залученні реальних геопросторових даних у навчання.

Наведемо в таблиці найбільш доцільні для організації імерсивного навчання програми.

Ресурс	Цільове призначення в навчанні	Короткі можливості
<b>Marble KDE</b>	Легкий десктопний 3D-глобус; навігація та базові шари	2D/3D-карти, огляд планети, прості функції
<b>Google Earth Web / Pro</b>	Візуалізація рельєфу й ландшафтів; аналіз змін територій; створення турів	3D-Земля, історичні знімки, шари, вимірювання
<b>ArcGIS Earth</b>	Базова 3D-візуалізація Землі та шарів даних; перегляд геопросторових даних	Проста 3D-глобальна візуалізація, вимірювання, робота зі шарами
<b>Cesium</b>	Web-3D візуалізація місцевості, реалістичні цифрові моделі рельєфу	Реалістична 3D-сцена Землі, інтеграція даних, моделювання

#### ***7.4. Інтерактивні кліматичні, природничо-географічні та демографічні платформи***

У сучасній географічній освіті важливо забезпечити учням доступ до реальних даних про стан атмосфери, кліматичні тренди, динаміку природних процесів, демографічну ситуацію та екологічні зміни. Інтерактивні онлайн-платформи, створені міжнародними науковими установами, надають можливість у режимі реального часу відстежувати погодні явища, аналізувати супутникові знімки, працювати з великими наборами геопросторових даних та робити власні висновки на їхній основі.

Такі ресурси сприяють формуванню критичного мислення, розвивають уміння працювати з цифровими картами та аналітичними панелями, а також

створюють передумови для імерсивного навчання завдяки поєднанню високої інтерактивності, динамічної візуалізації та моделювання природних явищ.

Платформи, які наведені в таблиці, рекомендовано для використання в навчальному процесі академічних ліцеїв під час вивчення кліматології, метеорології, океанології, природничо-географічного районування, біогеографії та соціально-економічної географії світу на *профільному рівні* або з метою *організації діяльності дослідницького характеру*.

Платформа	Призначення / тип даних	Дидактичний потенціал	Чим забезпечується імерсивність
<b>Climate Reanalyzer (University of Maine)</b>	Глобальні кліматичні поля: температура, опади, аномалії, морський лід, океанічні показники.	Аналіз кліматичних процесів; вивчення кліматичних аномалій; формування навичок читання кліматичних карт.	Динамічна зміна параметрів, реальні дані, моделювання змін у часі.
<b>NASA Worldview (EOSDIS)</b>	Супутникові знімки у реальному часі: пожежі, хмарність, забруднення, рослинність.	Вивчення природних явищ та ризиків; аналіз супутникових відомостей; екологічний моніторинг.	Супутникові дані на даний момент часу, ефект «віртуальної експедиції».
<b>Copernicus Climate Data Store (CDS Maps)</b>	Дані ЄС: температури, опади, атмосферні тренди, кліматичні проєкції.	Профільне вивчення кліматології; робота з відкритими науковими даними; дослідницькі завдання.	Глибока наукова аналітика, моделювання майбутнього клімату.
<b>Ventusky</b>	Температури, опади, вітер, атмосферні моделі, анімації.	Ілюстрація глобальних атмосферних процесів; демонстрації на уроках	Візуально потужні анімації та рухомі шари.
<b>World Population Review</b>	Карти населення, економіки, демографії, міграцій.	Тематичні карти та індикатори для пояснення демографічних і соціальних процесів.	Візуалізація індикаторів у реальному часі.
<b>Global Forest Watch (WRI)</b>	Лісові покриття, зміни лісів, пожежі, вирубки, відновлення.	Вивчення екологічних проблем; аналіз вирубки; екосистемні дослідження.	Супутникова фіксація змін у часі з ефектом реального моніторингу.

Платформа	Призначення / тип даних	Дидактичний потенціал	Чим забезпечується імерсивність
<b>Earth Nullschool</b>	3D-візуалізація атмосфери та океанів: вітри, течії, CO <sub>2</sub> , пил.	Вивчення глобальних циркуляцій; океанологія; атмосферні процеси.	Реалістичний тривимірний глобус з анімованими потоками.
<b>UNEP Environment Live</b>	Глобальні індикатори екологічного стану.	Стратегічне екологічне мислення; аналіз стану довкілля.	Реальні міжнародні екологічні дані.
<b>GBIF Biodiversity Mapper</b>	Поширення видів тварин і рослин (реальні точки спостережень).	Біогеографія, екологія, дослідження ареалів.	«Жива карта» біорізноманіття на основі реальних польових даних.

*Climate Reanalyzer* (<https://climatereanalyzer.org>) – ресурс Університету Мену (США), що пропонує інтерактивні візуалізації глобальних кліматичних показників: температуру поверхні, аномалії, морський лід, параметри океану. Дані базуються на моделях NOAA, NASA, Copernicus. *Дидактично* використовується для аналізу кліматичних аномалій, пояснення глобального потепління, дослідження сезонних змін.

*NASA Worldview (EOSDIS)* (<https://worldview.earthdata.nasa.gov>) – інструмент NASA для перегляду щоденних супутникових знімків: хмарність, пожежі, смог, пилові бурі, льодовики. Є пошарова візуалізація з різних супутників. *Дидактично* надає можливість організувати віртуальні дослідження природних явищ на основі актуальних даних.

*Copernicus Climate Data Store* (<https://cds.climate.copernicus.eu>) – європейська кліматична інформаційна служба, що містить проєкції, моделі та історичні кліматичні дані. Має інтерактивний переглядач із широкими можливостями аналітики. *Дидактично* оптимально підходить для профільних ліцеїв, де потрібен аналіз кліматичних трендів та сценаріїв.

*Ventusky* (<https://www.ventusky.com>) – метеорологічна платформа зі зрозумілими анімаціями температури, опадів та вітру. *Дидактично* ідеальна для візуального пояснення погоди та демонстрацій на уроках.

**World Population Review** (<https://worldpopulationreview.com>) – простий та наочний ресурс з інтерактивними картами населення, економічних індикаторів, демографічних трендів. *Дидактично* допомагає проводити порівняльний аналіз країн за ключовими показниками.

**Global Forest Watch** (<https://www.globalforestwatch.org>) – платформа для моніторингу вирубування, пожеж і змін лісового покриву за супутниковими даними. *Дидактично* використовується для екологічних розслідувань і тем антропогенного впливу.

**Earth Nullschool** (<https://earth.nullschool.net>) – 3D-візуалізація вітрів, океанічних течій, температур, концентрації газів. *Дидактично* надає учням можливість спостерігати атмосферну циркуляцію та океанічні процеси в реальному часі.

**UNEP Environment Live** (<https://environmentlive.unep.org>) – портал Програми ООН з довкілля з глобальними індикаторами стану навколишнього середовища. *Дидактично* допомагає проводити інтегровані екологічні дослідження.

**GBIF Biodiversity Mapper** (<https://www.gbif.org>) – глобальна база біорізноманіття, яка містить мільйони реальних спостережень видів. *Дидактично*: корисна для вивчення ареалів, міграцій, біогеографічних закономірностей.

### **7.5. Конструктори мультимедійних географічних проєктів**

Одним із напрямів навчання географії в академічних ліцєях є використання цифрових платформ, що надають учням можливість створювати мультимедійні географічні продукти: карти, просторові історії, наративи, аналітичні візуалізації. Такі інструменти забезпечують когнітивну імерсивність, оскільки передбачають активне конструювання знань, роботу з даними та візуально-просторовими об'єктами.

До мультимедійних конструкторів можна віднести:

– **Google Earth Projects** – інтерактивний продукт, який дає змогу створювати віртуальні подорожі й тематичні маршрути з інтеграцією 3D-моделей та супутникових зображень;

– *ArcGIS StoryMaps*, що поєднує мультимедійні матеріали з просторовими даними та дає змогу будувати професійні географічні наративи;

– *StoryMapJS*, інтерактивний, орієнтований на створення простих маршрутів та географічних історій;

– *ArcGIS Instant Apps – Atlas*, який надає учням можливість конструювати цифрові атласи та працювати з інтерактивними шарами;

– *Flourish*, інтерактивний і дозволяє будувати динамічні картографічні візуалізації для аналізу статистичних, демографічних та економічних даних;

– *MapChart*, що дозволяє швидко створювати власні тематичні карти (країн, регіонів, континентів) із використанням кольорового кодування, легенд та класифікації даних; є зручним інструментом для представлення результатів учнівських досліджень.

Використання таких інструментів сприяє розвитку просторового мислення, розумінню закономірностей розміщення природних та соціально-економічних об'єктів, формуванню аналітичних і проєктних компетентностей учнів.

## **7.6. Застосунки для ігрового навчання та перевірки знань із географії**

Гейміфікація навчання географії передбачає використання цифрових платформ, що пропонують завдання у формі інтерактивних тренажерів, симуляцій чи просторових ігор. Такі інструменти забезпечують ігрову та ситуаційну імерсивність, дають змогу зануритися у віртуальні ландшафти, порівнювати їхні характеристики, моделювати географічні умови та відтворювати реальні ситуації.

До актуальних і педагогічно доцільних інструментів належать:

– GeoGuessr, що працює на основі панорам Street View і дозволяє визначати місцевість за природними та антропогенними ознаками;

– Seterra / GeoHub, які пропонують тренажери для вивчення географічних назв та картографічних об'єктів;

– Minecraft Education, що дає змогу моделювати біоми, рельєф, екосистеми, створювати маршрути та досліджувати просторову організацію територій;

– Scratch, який не є географічною платформою, проте може використовуватися як інструмент створення простих інтерактивних моделей та анімацій географічних процесів (наприклад, моделювання руху повітряних мас, зміни пір року, етапів гідрологічного циклу), що сприяє розвитку в учнів навичок моделювання, алгоритмічного мислення та візуального пояснення природних явищ.

Ці застосунки, можливо, не повною мірою відображають імерсивність процесу навчання, але можуть бути ефективними для закріплення знань, формування навичок розпізнавання географічних об'єктів, розвитку логічного та просторового мислення. У контексті імерсивного навчання вони виконують роль емоційно насичених ситуаційних моделей, що стимулюють мотивацію та залученість учнів.

## 8. Імерсивні мобільні застосунки для вивчення астрономії

Імерсивні технології відкривають нові можливості для засвоєння навчального матеріалу з астрономії в академічних ліцеях. Мобільні застосунки з підтримкою доповненої реальності, 3D-візуалізацій та віртуальних планетаріїв надають можливість:

- моделювати просторове розташування небесних об'єктів;
- вивчати рух планет та їхні характеристики в динаміці;
- розглядати космічні апарати в масштабі та конструктивних деталях;
- відтворювати астрономічні явища з високою наочністю;
- формувати дослідницьку, аналітичну та просторову компетентності учнів.

Нижче наведено добірку актуальних мобільних / цифрових застосунків, які найкраще відповідають вимогам імерсивного навчання астрономії, а також їхній дидактичний потенціал для використання у шкільному курсі.

Застосунок	Тип імерсивності	Основні можливості	Дидактичний потенціал
<b>Spacecraft 3D</b>	AR + 3D-моделі.	Реалістичні моделі апаратів NASA, обертання, масштабування.	Вивчення будови космічної техніки; аналіз місій NASA; створення мініпроектів.
<b>Star Walk 2</b>	AR + інтерактивний планетарій.	Розпізнавання об'єктів, моделі сузір'їв, часові симуляції.	Орієнтування на небі; вивчення руху планет; моделювання положення небесних тіл.
<b>Planets AR</b>	AR	3D-моделі планет і супутників, нічний режим.	Порівняння параметрів планет; формування просторового мислення.
<b>SkyView / SkyView Lite</b>	AR	Визначення небесних об'єктів, траєкторії.	Початкове орієнтування на небі; базові демонстрації.
<b>Solar System Scope</b>	3D / напів-VR	Деталізована модель Сонячної системи, масштабування, симуляції.	Пояснення орбіт, масштабів і просторових співвідношень.
<b>Stellarium Mobile</b>	Професійний інтерактивний планетарій.	Каталоги зір, реалістичне небо, моделювання часу.	Профільне навчання; робота з каталогами; підготовка до спостережень.

Застосунок	Тип імерсивності	Основні можливості	Дидактичний потенціал
<b>SkySafari</b>	Астрономічний 3D-симулятор.	Режим телескопа, наукові бази даних, складні моделі.	STEM-проекти; аналіз небесних об'єктів; робота з великими базами даних.
<b>NASA Eyes</b>	3D-візуалізація місій.	Моделювання польотів, траєкторій, реальні дані місій.	Аналіз реальних космічних досліджень; застосування на уроках фізики й астрономії.
<b>Cosmic Watch</b>	AR + 3D-астролабія.	Небесна сфера, координатні системи, екліптика.	Пояснення складних понять.



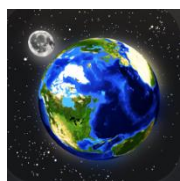
**Spacecraft 3D** – мобільний AR-застосунок NASA, який надає учням можливість вивчати конструкції реальних космічних апаратів NASA.

*Методичні акценти:* демонстрація апаратів на уроках; аналіз призначення місій; проекти з порівняння різних модулів космічної техніки.



**Star Walk 2** – мобільний застосунок, що є віртуальним планетарієм і одним із найточніших мобільних інструментів для орієнтування на небі.

*Методичні акценти:* визначення сузір'їв; побудова часових симуляцій; пояснення видимого руху небесних тіл.



**Planets AR** – мобільний застосунок, що містить AR-модель Сонячної системи і демонструє реалістичні 3D-моделі планет і супутників у доповненій реальності. Підтримує нічний режим, фотофіксацію, масштабування.

*Методичні акценти:* порівняння характеристик планет; моделювання системи Сонце – планета – супутник.



**SkyView / SkyView Lite** – мобільний застосунок для визначення та вивчення небесних об'єктів, але його використання розраховане на учнів молодших та середніх класів.

*Методичні акценти:* швидкі навчальні демонстрації; мотиваційні завдання для 7–9 класів.



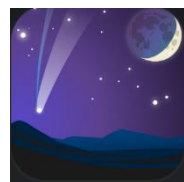
**Solar System Scope** – мобільний застосунок для вивчення Сонячної системи та космічного простору. Надає деталізовану 3D-модель Сонячної системи.

*Методичні акценти:* пояснення масштабів космосу; моделювання орбітальних рухів.



**Stellarium Mobile-Star Map** – професійний мобільний планетарій, який надає точну цифрову копію зоряного неба. Підтримує роботу з каталогами та моделюванням подій. Підходить для профільних курсів ліцею.

*Методичні акценти:* робота з астрономічними каталогами; підготовка до нічних спостережень.



**SkySafari Astronomy** – науковий 3D-планетарій, розширений симулятор із телескопічними режимами, який містить дуже велику базу даних, професійні моделі, підтримує режим телескопа. Рекомендується для дослідницьких робіт і STEM-проектів.

*Методичні акценти:* STEM-дослідження; аналіз складних об'єктів (туманностей, галактик).

**NASA Eyes** (<https://science.nasa.gov/eyes/>) – 3D-візуалізація космічних місій NASA. Надає доступ до реальних космічних місій у форматі 3D: траєкторії польотів, планетарних зондів, супутників Землі. Створює контекст реального космічного дослідження.

*Методичні акценти:* аналіз траєкторій і маневрів; інтеграція з фізикою та космічною інженерією.



**Cosmic Watch** – AR + цифрова астролабія, яка надає можливість візуалізувати небесну сферу, координатні системи, екліптику, прецесію; AR-інструмент для опанування небесної сфери.

*Методичні акценти:* координатні системи, екліптика, небесні лінії, прецесія. Незамінний інструмент для поглибленого вивчення складних тем.



***Stars and Planets*** – навчальний застосунок із деталізованими 3D-моделями зірок, планет, екзопланетних систем, галактик та інших астрономічних об'єктів. Доступні структуровані описи, інтерактивні моделі, масштабування, перегляд параметрів (маса, температура, хімічний склад, орбіти), а також візуалізації у форматі «космічного польоту».

*Методичне використання:*

- вивчення фізичних характеристик планет, зірок та екзопланет;
- демонстрація у профільних класах під час пояснення тем про еволюцію зір;
- порівняння властивостей небесних тіл у межах STEM-проектів;
- створення учнівських мультимедійних презентацій з опорою на реальні астрономічні дані.

*Дидактичний потенціал:* формування глибокого розуміння будови та еволюції небесних об'єктів; розвиток навичок аналітичного мислення через роботу з числовими параметрами; підтримка профільного вивчення астрономії завдяки науково верифікованим моделям; збагачення навчального процесу високоякісними 3D-візуалізаціями.



***Star Roam Sky Map Planet*** – мобільний застосунок для визначення й дослідження небесних об'єктів у реальному часі. Підтримує наведення камери на небо з автоматичним розпізнаванням зірок, сузір'їв, планет, туманностей, галактик і штучних супутників. Містить динамічні карти зоряного неба та режим нічного спостереження.

*Методичне використання:*

- навчальні демонстрації під час практичних занять зі спостереження неба;
- аналіз руху планет і визначення положення небесних тіл у різні моменти часу;
- виконання індивідуальних проєктів зі спостереження космічних об'єктів;
- формування навичок роботи з цифровими астрономічними картами.

*Дидактичний потенціал:* розвиток навичок орієнтування на зоряному небі; підвищення мотивації через використання AR-наведення в реальному часі;

формування просторової й дослідницької компетентностей; покращення розуміння будови нічного неба та взаємного розташування космічних об'єктів.

ВИРОБНИЧО-ПРАКТИЧНЕ ВИДАННЯ

**Імерсивні платформи та застосунки для організації навчання  
природничо-математичних предметів учнів академічних ліцеїв**

Рашевська Наталя Василівна

МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК

(Електронне видання)

Обсяг вид. 4,5 авт. арк.

Інститут цифровізації освіти  
Національної академії педагогічних наук України  
м. Київ, вул. Максима Берлінського, 9  
Свідоцтво про державну реєстрацію:  
серія ДК №7609 від 23.02.2022 р.  
електронна пошта (E-mail): [iitlt@iitlt.gov.ua](mailto:iitlt@iitlt.gov.ua)